Bernoulli Resolve

Física

6V **Volume 6**

istockphoto.com

Sumário - Física

Frente A

Frente B

Frente C

Frente D

COMENTÁRIO E RESOLUÇÃO DE QUESTÕES

MÓDULO – A 11

Energia

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra A

Comentário: Vamos analisar as afirmações separadamente:

I. Verdadeiro. Mesmo que haja perda de energia mecânica, ela se conservará em outra forma de energia, como a térmica.

II. Falso. A energica cinética depende da massa e da velocidade do corpo. O trabalho de uma força pode causar uma variação na energia cinética de um sistema, mas ele não é a energia cinética em si.

III. Verdadeiro. De fato, o trabalho realizado por uma força conservativa não depende da trajetória, mas sim do deslocamento total paralelo a essa força. O deslocamento é um vetor que liga a posição inicial à final desconsiderando a trajetória; dessa forma, o trabalho não dependerá da trajetória. Um exemplo disso são duas pessoas subindo até o décimo andar de um prédio carregando caixas de mesmo peso. Se uma sobe pelo elevador e a outra pelas escadas, ao chegar ao décimo andar, ambas terão realizado o mesmo trabalho.

IV. Falso. O trabalho realizado por forças dissipativas depende da trajetória. Imagine empurrar uma caixa grande de madeira em um chão áspero, descrevendo uma trajetória circular. Ao final de várias voltas, você poderá perceber que houve um aquecimento na base da caixa, o qual é consequência do trabalho da força de atrito, que é dissipativa e de forma alguma foi nula. Professor, aproveite para questionar os alunos sobre o que ocorreria se a força fosse conservativa.

Questão 02 – Letra D

Comentário: No ponto mais alto da rampa, a energia potencial gravitacional do bloco será dada por E_{PG} = mgh, sendo h a altura procurada. Como houve perda de 20% dessa energia ao chegar ao solo, h = 0, teremos $E_C = 0{,}80\ E_{PG}$ assim:

$$\frac{1}{2}mv^2 = 0{,}80.mgh \qquad h = \frac{v^2}{1{,}60g}$$

$$h = 4\ m$$

Questão 03 – Letra E

Comentário: A figura 1 mostra o sistema em sua posição de equilíbrio. Nessa posição, as molas apresentam um comprimento de 2 cm. Nas figuras 2 e 3, as molas encontram-se comprimidas e distendidas, respectivamente, sendo essas as posições extremas de oscilação do sistema, ou seja, posições em que a deformação das molas é máxima.

As molas apresentam a mesma deformação nas posições mostradas nas figuras 2 e 3, Δx = 1 cm. Logo, como a energia potencial elástica é proporcional ao quadrado da deformação das molas, e esta é a mesma tanto na figura 2 quanto na figura 3, tendo seu valor máximo, conclui-se que a energia potencial elástica máxima do sistema ocorre nas posições das figuras 2 e 3.

Logo, a alternativa correta é a E.

Questão 04 – Letra D

Comentário: Como os atritos são desprezíveis, a energia mecânica do carrinho se mantém constante durante o percurso. Assim, sua energia mecânica, que será a soma de sua energia cinética com sua energia potencial gravitacional, valerá $E_m = E_{pg} + E_c = mgd + mgd/2 = 3mgd/2$, de acordo com as informações do enunciado para o ponto 1. Assim:

Josefina: $E_c = E_m - E_{pg} = 3mgd/2 - mgd/2 = mgd$

Gabriel: $E_{pg} = 3mgd/4$

$E_c = E_m - E_{pg} = 3mgd/2 - 3mgd/4 = 3mgd/4$

$E_c = E_{pg}$

Rosana: Como dito anteriormente, os atritos são desprezíveis e a energia mecânica do carrinho é igual a 3mgd/2 em qualquer ponto do percurso.

Assim, Josefina, Gabriel e Rosana estão corretos, como se afirma na alternativa D.

Questão 05 – Letra A

Comentário: A energia mecânica no ponto mais alto é apenas potencial gravitacional e é dada por E_{PG} = mgh. O ponto C representa um ponto em que h = 0. Portanto, a energia mecânica nesse ponto será apenas a energia cinética do sistema, que, devido a perdas, corresponde a 64% da energia inicial. Dessa forma:

$$E_C = 0{,}64\ E_{PG} \qquad 0{,}64.mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v^2 = 64 \qquad v = 8{,}0\ m/s$$

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra D

Comentário: O ciclista está descendo a ladeira com velocidade constante. Logo, a energia cinética dele permanece constante. Como o ciclista desce a ladeira, ou seja, sua altura em relação a certo nível de referência está diminuindo, sua energia potencial gravitacional também está diminuindo. Portanto, a alternativa correta é a letra D.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Nesse exercício, compara-se a energia mecânica em dois pontos. Porém, ao contrário do que é mais comum, em um dos pontos, existe tanto energia mecânica quanto cinética. Sendo assim, teremos:

$$E_{Mi} = E_{Mf} \qquad E_{PG} = E_{PGf} + E_C$$

$$mgH = mgh + \frac{1}{2}mv^2 \qquad 10H = 100 + 0,5$$

$$H = 10,05 \text{ m}$$

Questão 04 – Letra B

Comentário: Vamos analisar as afirmativas:

1. Falso. Como é visto na equação da força gravitacional ($F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$), a força depende da distância entre os astros. Como a trajetória do satélite S_A é elíptica, em alguns pontos ele estará mais próximo do planeta. Portanto, o módulo da força gravitacional entre eles não é constante.
2. Verdadeiro. A energia potencial gravitacional, para grandes distâncias entre os corpos (planetas e satélites, por exemplo), é dada por: $E_{PG} = \frac{Gm_1m_2}{r}$. Repare que a afirmativa diz respeito à energia potencial gravitacional entre os satélites S_A e S_B. Em decorrência das suas trajetórias, as distâncias entre os dois astros não será constante, e assim também será a energia potencial gravitacional entre eles.
3. Falso. De acordo com a Segunda Lei de Kepler, a velocidade dos astros orbitantes varia em decorrência da proximidade ou do afastamento do astro central. Dessa forma, a energia cinética e a velocidade angular para o satélite S_A não serão constantes.

Questão 06 – Letra D

Comentário: Como os atritos são desprezados, a energia mecânica, que é a soma da energia potencial gravitacional com a energia cinética, se conserva durante o movimento de cada um dos garotos. Como eles partem do repouso, e sendo m a massa de André e 2m a massa de Daniel, temos:

$$E_{m_A} = m.g.h \quad \text{e} \quad E_{m_D} = 2mgh/2 = mgh$$

$$E_{m_A} = E_{m_D}$$

Como as energias mecânicas dos garotos são iguais, e no movimento de descida deles pelo tobogã, até o solo, a energia potencial gravitacional é totalmente convertida em energia cinética, temos que as energias cinéticas dos garotos ao nível do solo serão iguais, já que a energia mecânica total se conserva. Logo, no nível do solo:

$$E_{c_A} = E_{c_D} \qquad \frac{mv_A^2}{2} = \frac{2mv_D^2}{2} \qquad v_A > v_D$$

Assim, André e Daniel terão energias cinéticas iguais e valores de velocidade diferentes quando chegarem ao solo, como expresso na alternativa D.

Questão 07 – Letra A

Comentário: De acordo com o enunciado do exercício, não há forças dissipativas atuando sobre o bloco entre os pontos A e B. Logo, a energia mecânica do bloco se conserva. Sendo assim, considerando que a energia potencial do bloco seja nula no ponto A, a compressão máxima da mola pode ser calculada por:

$$E_{m_A} = E_{m_B} \qquad \frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{kx^2}{2}$$

$$x = \sqrt{\frac{m(v_0^2 - 2gh)}{k}} \qquad x = \sqrt{\frac{2,0(8,0^2 - 2.10.1,40)}{200}}$$

$$x = 0,60 \text{ m}$$

Ou seja, alternativa A é a correta.

Questão 09 – Letra D

Comentário: Como há a presença apenas de forças conservativas no sistema, há a conservação de energia mecânica total do sistema. Assim, escolhendo como nível de referência o solo, 187 m abaixo do ponto de partida do indivíduo, e sendo x a menor distância do rapaz ao solo, temos:

$$E_{m_0} = E_m \qquad mgh = mgx + \frac{k(115 - x)^2}{2}$$

$$2mgh = 2mgx + k(115 - x)^2$$

$$327\,250 = 1\,750x + 35(13\,225 - 230x + x^2)$$

$$x^2 - 180x + 3\,875 = 0$$

$$= 16\,900$$

$$x = \frac{-(-180) \pm \sqrt{16\,900}}{2.1}$$

$$x' = 155 \text{ m e } x'' = 25 \text{ m}$$

Como o valor de 155 m é absurdo, conclui-se que x = 25 m, resultado mostrado na alternativa D.

Questão 11 – Letra D

Comentário: Como os atritos são desprezíveis, a energia mecânica do sistema composto pelos dois blocos se conserva. Como a energia mecânica do sistema se conserva, o ganho de energia cinética do conjunto é igual à perda de energia potencial gravitacional do conjunto, que será a perda de energia potencial gravitacional do bloco B. Logo:

$$mgh = \frac{(M + m)v^2}{2} \qquad v^2 = \frac{2mgh}{(M + m)}$$

Essa é a velocidade do conjunto. Assim, a energia cinética do bloco A é dada por:

$$E_c = Mv^2/2 \qquad E_c = \frac{M.2mgh}{2(M + m)} = \frac{Mmgh}{(M + m)}$$

Como mostrado na alternativa D.

Questão 12 – Letra C

Comentário: Como o atrito com o ar é desprezível, a energia mecânica é dissipada após cada quique da bola no chão. Assim, podemos escrever:

$$(E_{m_1} = E_{m_2} > E_{m_3} = E_{m_4} = E_{m_5} > E_{m_6} = E_{m_7})$$

Analogamente, diretamente da definição de energia potencial gravitacional:

$$(E_{pg_1} > E_{pg_4} > E_{pg_7} > E_{pg_2} = E_{pg_3} > E_{pg_5} = E_{pg_6})$$

Portanto:

A) Correto. $E_{m_1} > E_{m_4}$.

B) Correto. $E_{pg_1} > E_{pg_4}$.

C) Incorreto. $E_{pg_2} = E_{pg_3}$ e $E_{m_2} > E_{m_3}$. Como a energia mecânica é a soma das energias potencial gravitacional e cinética, $E_{c_2} > E_{c_3}$.

D) Correto. $E_{m_3} = E_{m_4}$.

E) Correto. $E_{m_5} > E_{m_6} = E_{m_7}$.

Seção Enem

Questão 01 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: O enunciado explicita o funcionamento de um carrinho à corda e deixa claro que a energia nesse brinquedo está associada à deformação da mola, ou seja, trata-se de energia potencial elástica que posteriormente é transformada em energia cinética.

Entre as alternativas, a única na qual existe esse tipo de conversão é a letra E: o estilingue, ou atiradeira, por meio do qual um objeto (geralmente uma pequena pedra) é arremessado, convertendo-se a energia potencial elástica (armazenada no elástico do estilingue) em energia cinética (o movimento da pedra).

A respeito das demais alternativas teremos:

A) A conversão existente em um dínamo corresponde à energia elétrica convertida em energia magnética.

B) O freio de um automóvel converte energia cinética em energia térmica.

C) O motor a combustão converte energia química em energia cinética.

D) A usina hidroelétrica converte a energia potencial gravitacional contida na água em energia elétrica.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Para lançar a flecha, o arqueiro traciona a corda, gerando uma variação no comprimento natural desta. Assim, há o armazenamento de energia potencial elástica. Ao soltar a corda, a flecha, que estava em repouso, ganha velocidade e a corda volta ao seu comprimento natural, ou seja, ocorre a transformação de energia potencial elástica em energia cinética, como afirma a alternativa C.

Questão 03 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: Devido ao processo químico de combustão da vela, há uma perda de massa e, consequentemente, há uma variação na energia potencial gravitacional desta. Em consequência disso, a vela se desloca, ocorrendo uma transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética.

Questão 04 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: Tanto nas usinas geotérmicas quanto nas usinas nucleares, há a transformação de energia térmica em cinética e, em seguida, em elétrica. No caso das usinas geotérmicas, a grande energia térmica dos vapores move turbinas (transformação em energia cinética), que depois gerarão eletricidade (transformação em energia elétrica).

Questão 05 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente:

I. Falso. A potência nominal máxima de Itaipu é menor que a da hidrelétrica de Três Gargantas.

II. Verdadeiro. A produção efetiva de energia elétrica de Itaipu é maior que a de Três Gargantas, mesmo com menor potência instalada. Assim, sua eficiência é maior.

III. Verdadeiro. A potência instalada em Três Gargantas é maior do que a em Itaipu, mesmo tendo aquela uma menor área inundada. Sendo assim, a razão entre potência instalada e área inundada é mais favorável em Três Gargantas.

Dessa forma, a alternativa correta é a E.

Questão 06 – Letra C

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Para que uma altura máxima seja atingida, é necessário que toda a energia do sistema seja convertida em uma forma de energia que está associada à altura, ou seja, energia potencial gravitacional. Se houver conversão da energia cinética inicial em outras formas de energia, então menos energia será convertida em energia potencial gravitacional e a altura não será máxima. Portanto, a alternativa que relaciona corretamente as conversões de energia é a C.

MÓDULO – A 12

Impulso e quantidade de movimento

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: Vamos considerar a altura do ponto B como sendo a nossa altura de referência; dessa forma, $h_B = 0$ e $h_A = 1{,}8$ m $\Rightarrow$ $2{,}4 \times \text{tg}\ \theta$. A energia mecânica do sistema não se conserva, mas, para resolver esse exercício, vamos considerar que toda a perda de energia do sistema foi decorrente do trabalho da força de atrito. Sendo assim, a energia do sistema no ponto A é igual à energia no ponto B somada à parcela de energia perdida em decorrência do atrito:

$E_A = E_B + |W_{FAT}|$

O módulo do trabalho da força de atrito, nesse caso, será dado por:

$|W_{FAT}| = F_{AT}.D$, em que

$F_{AT} = \mu.N = \mu.mg.\cos\theta$ e $D = 2{,}4/\cos\theta$

Assim:

$mgh_A + m(v_A)^2/2 = mgh_B + m(v_B)^2/2 + \mu.mg.\cos\theta.2{,}4/\cos\theta \Rightarrow$

$gh_A + (v_A)^2/2 = (v_B)^2/2 + 2.4\mu g \Rightarrow$

$(v_B)^2 = 2(18 - 0{,}5 - 6) \Rightarrow v_B = 5$ m/s

Portanto, o módulo da variação da quantidade de movimento será:

$|\Delta Q| = |Q_A - Q_B| = m|V_A - V_B| = 50\ |1 - 5| = 200$ N.s

Questão 02 – Letra D

Comentário: Em uma colisão inelástica, parte da energia do sistema é perdida. Nesse caso, essa perda será refletida diretamente numa diminuição da energia cinética das bolinhas. No que diz respeito à quantidade de movimento, como não há ação de forças externas no sistema, ela se conserva, ou seja, $\vec{q}_{Antes} = \vec{q}_{Depois}$ como $\vec{q}_{Antes} = \vec{q}_A + \vec{q}_B$ então, $\vec{q}_{Depois} = \vec{q}_A + \vec{q}_B$.

Professor, quando resolver esse exercício, ressalte a diferença entre as grandezas vetoriais e escalares. A quantidade de movimento do sistema será sempre a soma vetorial das quantidades de movimento de todas as partículas ou corpos do sistema. Porém, o módulo da quantidade de movimento total do sistema pode incluir também operações de subtrações das quantidades de movimento das componentes do sistema.

Questão 03 – Letra E

Comentário: Sabemos que Q = mv e que, na referida situação, a quantidade de movimento (Q) do sistema constituído pelos dois veículos antes da colisão é igual à quantidade de movimento imediatamente após o choque. Ou seja, $Q_A = Q_D$. Como $Q_A = 3m.90 + m.54$, pois a massa do caminhão é o triplo da massa do automóvel, e $Q_D = 4mv$, temos que:

$3m.90 + m.54 = 4mv \Rightarrow v = 81$ km/h

Resultado encontrado na alternativa E.

Questão 04 – Letra D

Comentário: Esse exercício é resolvido utilizando-se a equação $F = \Delta Q/\Delta t$.

Sendo:

$\Delta Q = Q_{final} - Q_{inicial} = 0,060.(30 - (-40)) = 4,2$ kg . m/s (ou 4,2 N.s)

$F = \Delta Q/\Delta t = 4,2/0,01 = 420$ N

Questão 05 – Letra C

Comentário: A colisão foi perfeitamente elástica, o que significa um coeficiente de restituição (e) igual a 1. Como o bloco B estava inicialmente em repouso ($v_B = 0$), temos:

$v_{rel.aprox.} = v_A - v_B$. Sendo $v_B = 0$ e $v_A = v \Rightarrow v_{rel.aprox.} = v$.

$v_{rel.afast.} = v'_B - v'_A$. Como $e = v_{rel.afast.}/v_{rel.aprox.} = 1$, então

$v_{rel.afast.} = v_{rel.aprox.} \Rightarrow v'_B - v'_A = v$

Utilizando o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, chegamos à seguinte relação:

$Q_{antes} = Q_{depois} \Rightarrow M_A.v = M_A.v'_A + M_B.v'_B$

Substituindo o valor de $v'_B = v'_A + v$, chegamos a:

$M_A.v = M_A.v'_A + M_B.(v'_A + v) \Rightarrow v.(M_A - M_B) = v'_A.(M_A + M_B)$

$v'_A = v.(M_A - M_B)/(M_A + M_B)$

Essa relação mostra que, no caso de $M_A = M_B$, teremos $v'_A = 0$. Assim, após a colisão, o bloco A ficaria parado, enquanto, de acordo com a relação $v'_B = v'_A + v$, o bloco B cairia da mesa com uma velocidade inicial horizontal igual a v, como afirmado pela alternativa C.

Observação:

A resposta pode ser obtida sem os cálculos anteriores, lembrando que a alternativa C caracteriza um caso particular da colisão elástica. Se as massas são iguais e a colisão é elástica, os blocos permutam as suas velocidades.

Exercícios Propostos

Questão 02 – V F V F V

Comentário: A questão proposta requer que validemos, ou não, as afirmativas feitas. Sendo assim, vamos analisar as afirmativas separadamente.

- Verdadeira. A velocidade de uma partícula depende do sistema de referência adotado. Portanto, a quantidade de movimento também depende disso.
- Falsa. Sabemos que o valor da energia cinética de um corpo é dado por $E_c = mv^2/2$. Como a massa é uma grandeza escalar sempre positiva, e o módulo do vetor velocidade está elevado ao quadrado, é impossível a existência de valores negativos para a energia cinética de uma partícula.
- Verdadeira. Por definição, uma colisão é perfeitamente elástica quando a energia cinética se conserva.
- Falsa.Em qualquer colisão, seja ela elástica ou inelástica, quando não há forças externas atuando sobre o sistema, a quantidade de movimento total do sistema se conserva.
- Verdadeira. Na ausência de forças externas atuando sobre o sistema (força resultante nula), de acordo com a 1ª Lei de Newton, o centro de massa pode estar em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, ou seja, movendo-se em linha reta e com velocidade de módulo constante e não nulo.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Na referida situação, a quantidade de movimento total do sistema se conserva ($Q_A = Q_D$). Como $Q_A = Mv - mu$ (em que o sinal negativo refere-se ao movimento para a esquerda do peixe menor) e $Q_D = (M + m)v_F$, temos que:

$v_F = (Mv - mu)/(M + m) \Rightarrow$

$v_F = (5,0.1 - 1,0.8,0)/(5,0 + 1,0) = -0,50$ m/s

Ou seja, após engolir o peixe menor, o peixe maior se moverá com velocidade de 0,50 m/s para a esquerda, como afirma a alternativa A.

Questão 06 – Letra E

Comentário: Sabemos que o módulo do impulso exercido por uma força $\vec{F}$ constante sobre um corpo pode ser calculado por meio da equação $I = F\Delta t$. A área abaixo da curva do gráfico da questão é numericamente igual ao o módulo do impulso exercido sobre o carrinho. Tal área pode ser calculada por meio da equação da área do trapézio, $I = h(b + B)/2$, em que h = 30 representa a altura, b = 10 é a base menor, e B = 25 é a base maior. Assim, I = 30.(10 + 25)/2 = 525 N.s. Logo, a intensidade da força constante que produz o mesmo impulso que a força representada no gráfico durante o referido intervalo de tempo é dada por:

$$F = I/\Delta t = 525/25 = 21 \text{ N}$$

Resultado encontrado na alternativa E.

Questão 07 – Letra D

Comentário: Antes da colisão, a quantidade de movimento do par de carrinhos é dada por:

$Q_A = mv + mv = 0,2.0,8 + 0,2.0,8 = 0,32$ N.s $= 0,32$ kg.m/s

Após a colisão do carrinho traseiro, o sentido da velocidade deste é invertido. Assim:

$$Q_D = -mv + mv = -0,2.0,8 + 0,2.0,8 = 0 \text{ N.s}$$

Os dois resultados estão indicados na alternativa D.

Questão 09 – Letra A

Comentário: Decompondo o vetor $\vec{v}$, correspondente à velocidade de lançamento, obtemos que o módulo da componente horizontal da velocidade vale v_x = v.cos 60° = 0,50v (e é constante ao longo de todo o movimento do objeto). O momento linear do sistema, antes da colisão, é a soma vetorial do momento relativo ao corpo lançado obliquamente (horizontal e para a direita, já que v_y = 0) com o momento do objeto em queda livre (vertical e para baixo).

Utilizando a Regra do Paralelogramo e o Teorema de Pitágoras, obtemos que o módulo da quantidade de movimento do sistema antes da colisão é dado por $Q_A = \sqrt{(m.0,50v)^2 + (mv)^2}$. A quantidade de movimento do sistema imediatamente após a colisão, em módulo, é dada por Q_D = $2mv_F$, pois os dois corpos permanecerão juntos após o choque. Como as forças externas que atuam sobre o sistema durante a colisão são desprezíveis, temos que a sua quantidade de movimento se conserva. Logo, Q_A = Q_D. Assim,

$$\sqrt{(m.0,50v)^2 + (mv)^2} = 2mv_F \qquad v_F = (\sqrt{5}/4)v$$

Ou seja, alternativa A é a correta.

Questão 12 – Letra C

Comentário: Essa questão aborda o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento de um sistema e, também, a energia cinética associada a ele.

Na situação do exercício, os blocos estão em movimento antes de o explosivo ser detonado. Considere o sistema formado pelos dois blocos. Durante a explosão, as forças exercidas sobre os blocos são forças internas ao sistema, o que garante que a quantidade de movimento do sistema se mantenha constante. Dessa forma, a explosão não altera a quantidade de movimento do sistema. Entretanto, a explosão fornece energia a ele e, assim, a energia cinética do sistema é maior após a explosão. Logo, a alternativa correta é a C.

Questão 15

Comentário: Antes do disparo, os dois carrinhos se comportam como um corpo só, a energia cinética associada ao movimento deles é dada por $E_c = \frac{1}{2}(m_A + m_B)v^2 = 3$ J.

Como o sistema inicialmente possui energia mecânica igual a 3,75 J, os 0,75 J a mais são provenientes da energia potencial elástica armazenada na mola.

Depois do disparo, toda a energia do sistema estará na forma de energia cinética (já que não existem forças dissipativas no sistema, a energia mecânica se conserva), e há conservação da quantidade de movimento do sistema (considerando o sistema com os dois carrinhos e a mola). Portanto, não existe ação de forças externas sobre os carrinhos. Assim:

$$E_{MEC} = E_{CA} + E_{CB} = \frac{1}{2}mv_A^2 \qquad \frac{1}{2}mv_A^2 = E_{MEC} - \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$v_A^2 = 0,25 \qquad v_A = 0,5 \text{ m/s}$$

Questão 16

Comentário: Essa questão é aberta e constituída de dois itens.

A) Analisando o gráfico da questão, podemos afirmar que o período da referida onda sonora é T = 8 x 10^{-3} s. Como f = 1/T, f = 1/(8 x 10^{-3}) = 125 Hz.

B) Sabemos que Q = mv.
No instante t = 0: $3v_0$ = 12 ⇒ v_0 = 4,0 m/s
Já no instante t = 6 x 10^{-3} s: 0 = $3v_F$ ⇒ v_F = 0
Sendo a expressão da energia cinética $E_C = mv^2/2$, temos que:
$\Delta E_C = E_{CFinal} - E_{CInicial} = 0 - 3.(4,0)^2/2 = -24$ J

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Nessa situação, podemos considerar que os astronautas não estão sujeitos a forças externas. Portanto, quando o primeiro astronauta arremessa o segundo, a quantidade de movimento do sistema, constituído por esses viajantes espaciais, se conserva. Como inicialmente a quantidade de movimento era zero, logo após o arremesso essa quantidade continuará sendo nula. Assim:

$$Q_A = Q_D \qquad 0 = -m|v_1| + m|v_2| \qquad |v_2| = |v_1| = |v|$$

Ou seja, ambos os astronautas se afastam do ponto de arremesso com velocidades constantes e de mesmo módulo, porém com sentidos opostos.

Como os astronautas são igualmente fortes, podemos concluir que o impulso exercido pelo terceiro astronauta sobre o segundo possui a mesma intensidade que o impulso exercido pelo primeiro astronauta sobre o segundo, considerando que os astronautas exerçam forças durante o mesmo intervalo de tempo. Portanto, podemos concluir que a variação da quantidade de movimento do segundo astronauta nos arremessos, em módulo, será a mesma. Assim, o impulso exercido pelo terceiro astronauta sobre o segundo provoca uma variação na quantidade de movimento deste, em módulo, igual a |mv|. Como o segundo astronauta se aproxima do terceiro com uma quantidade de movimento igual a mv, conclui-se que o segundo astronauta, após o arremesso, estará em repouso e, consequentemente, não poderá mais alcançar o primeiro astronauta. Portanto, após o arremesso feito pelo primeiro astronauta, só é possível mais uma arremessada, então, a alternativa A é a correta.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Quando uma arma de fogo é disparada, não apenas a bala é empurrada para frente, mas também os gases resultantes da queima que proporcionam a detonação da capsula. Isso indica que dois sistemas se movem para frente, a bala e os gases, e apenas um para trás, o corpo do revólver. Como a conservação da quantidade de movimento diz que o vetor quantidade de movimento do sistema (bala + gases) deve ser igual e oposto ao vetor quantidade de movimento do corpo do revólver, não há violação alguma do Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento e a alternativa correta é a A.

Questão 03 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: O erro apresentado pelo editorial é o mesmo erro cometido por muitas pessoas que supõem que os foguetes devem empurrar o solo para se mover. Na verdade, o que o foguete faz é empurrar uma parte de si mesmo para trás, no caso o combustível, adquirindo, desse modo, impulso na direção oposta. Podemos fazer uma analogia com o exercício anterior (revólver e bala), dizendo que o motor de um foguete se comporta como uma metralhadora que ejeta minúsculas balas em altas velocidades – no caso do foguete essas minúsculas balas seriam as partículas do combustível ejetado. Portanto, no vácuo é possível o movimento dos foguetes. Dessa discussão, conclui-se que B é a alternativa correta.

MÓDULO – B 11

Teoremas de Torricelli e Stevin

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra A

Comentário: O gráfico massa *versus* volume é uma reta que passa pela origem. Assim, ele pode nos fornecer a densidade do corpo por meio da sua inclinação, já que $m = \rho V$.

Como o chumbo é o material de maior densidade – essa informação deve ser de conhecimento dos estudantes – entre os materiais analisados, a reta que corresponde a ele será a de maior inclinação, ou seja, a de maior coeficiente angular. Logo, a reta que corresponde ao chumbo é a reta número 1, presente na alternativa A.

Questão 02 – Letra C

Comentário: O gráfico mostrado na figura 4 do Caderno Principal ilustra como a pressão atmosférica diminuiu em função da altitude. No alto do Everest, cujo topo se acha aproximadamente na altura do balão Zenith tratado nesse exercício, a pressão atmosférica é apenas 30% do valor da pressão ao nível do mar. Nessa altitude, a densidade do ar é muito menor do que a densidade ρ_0 ao nível do mar (apenas 40% de ρ_0). Portanto, é natural que pessoas mais frágeis sintam dificuldade em respirar em uma atmosfera tão rarefeita, onde a presença de oxigênio é muita baixa. Professor, não se esqueça de citar a pressurização nos aviões que voam mais alto e a dificuldade que os jogadores de times de futebol do Brasil sentem quando precisam atuar em altitudes maiores, como na cidade de La Paz, que está a 3 640 m de altitude.

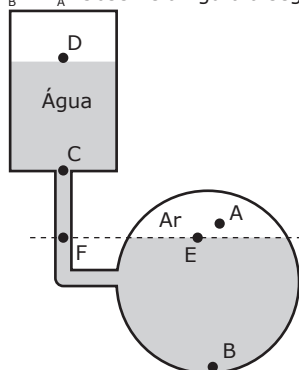
Questão 03 – Letra E

Comentário: A pressão exercida sobre a torneira é igual à soma das pressões exercidas pela coluna de água e pela coluna de ar. Pela definição operacional de pressão, ela é numericamente igual à força exercida sobre a torneira dividida pela área dessa. Assim, considerando h a altura da coluna de água, temos:

$P_{total} = 80/(4 \times 10^{-4}) = 2 \times 10^5$ Pa $= P_{H_2O} + P_{atm} = P_{H_2O} + 10^5$, em que $P_{H_2O} = 10^5$ Pa

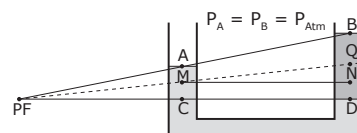
Como $P_{H_2O} = d.g.h = 10^3.10.1.h \Rightarrow h = 10$ m

Questão 04 – Letra B

Comentário: A pressão P_D no ponto D é a atmosférica, enquanto a pressão P_C no ponto C é a atmosférica somada com a pressão da coluna de água sobre o ponto C; logo $P_C > P_D$. Analogamente, a pressão P_A em A é a pressão do gás e a pressão P_B em B é a pressão do gás somada com a pressão da coluna de água sobre B; logo, $P_B > P_A$. Observe a figura a seguir:

A pressão em F é igual à pressão em E, pois estão no mesmo nível do mesmo líquido em duas colunas ligadas por um vaso comunicante; no entanto, é imediato que $P_F > P_C$ e que $P_E = P_A$, de onde concluímos que $P_A > P_C$. Assim, $P_B > P_A > P_C > P_D$.

Questão 05 – Letra D

Comentário: Tomando um ponto (D) na interface de separação dos líquidos de densidades d_M e d_N e traçando uma reta horizontal desse ponto até o outro lado do tubo, encontraremos um ponto (C) isóbaro ao ponto D ($P_C = P_D$). Tomando como base esses dois pontos, observando que $\Delta h_{CM} = \Delta h_{DM}$ e lembrando que a diferença de pressão entre dois pontos de um líquido pode ser escrita como $\Delta P = d.g.\Delta h$, temos que a queda de pressão, quando se vai de C para M, é maior que a queda de pressão quando subimos de D para N, pois $d_M > d_N$. Assim, $P_M < P_N$, como mostrado na alternativa D.

Uma outra forma muito interessante de se explicar essa questão é através do conceito de ponto de fuga. Como a diferença de pressão nos dois líquidos é diretamente proporcional à profundidade da coluna de líquido, as retas que ligam os pontos isóbaros dos dois líquidos se encontram em um único ponto chamado ponto de fuga (PF), como representado na figura a seguir. Qualquer reta que parta do ponto de fuga, na linha de interface ou acima dela, encontra os líquidos em pontos de mesma pressão (isóbaros).

Traçando a reta que liga o ponto de fuga e o ponto M, vemos que ela passa em Q (acima do ponto N). Como $P_Q = P_M$ e $P_Q < P_N$ (o ponto Q está acima de N), temos que $P_M < P_N$.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: Por meio da leitura do gráfico, concluímos que uma parte da barra, de comprimento igual a 40 cm, é feita de um dos dois metais e possui uma massa de 16 g. A outra parte tem 60 cm de comprimento, é feita do outro metal e a sua massa vale 80 g. As densidades dessas partes valem:

$$\rho_1 = \frac{16}{A.40} \text{ e } \rho_2 = \frac{80}{A.60}$$

Nessas equações, o numerador é a massa e o denominador, o volume de cada barra. O fator A é a área da seção transversal de cada barra. Observe que a densidade ρ_2 é maior do que a densidade ρ_1, de forma que a 2ª parte da barra é feita de cobre e a 1ª, de alumínio. Portanto, utilizando os resultados anteriores, temos:

$$\frac{\rho_{A\ell}}{\rho_{Cu}} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{16(A.40)}{80(A.60)} = 0,3$$

Resultado mostrado na alternativa C.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Bebidas gasosas, como refrigerantes e cervejas, contêm gás carbônico (CO_2) dissolvido no líquido. Os espumantes, em especial, contêm uma concentração ainda maior de gás carbônico. Por isso, quando a garrafa da bebida é agitada, o gás é liberado, exercendo uma grande pressão na rolha da garrafa.

A força exercida pelo gás sobre a rolha é F = ΔP.A, sendo ΔP = 33 −1 =32 atm a diferença entre a pressão interior que age na rolha e a pressnao atmosférica no lado externo da rolha e A = πd2/4 é a área frontal da rolha. Assim:

$F = (32 \times 10^5\ N/m^2).(3.0,015^2/4\ m^2) = 540\ N$

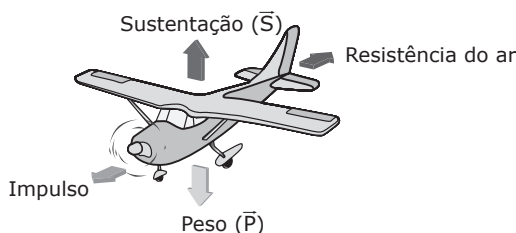
Questão 03 – Letra A

Comentário: Vamos chamar de V o volume do recipiente. Como m = d.V, em que m, d e V são a massa, a densidade e o volume do corpo, respectivamente, as massas dos líquidos X e Y valem:

$$m_X = 0,8\frac{V}{4} \quad e \quad m_Y = 0,5\frac{3V}{4}$$

Então, a razão entre essas massas é m_X/m_Y = 0,8/1,5 = 8/15, como expresso pela alternativa A.

Questão 04 – Letra B

Comentário: O peso $\vec{P}$ de um avião, em voo horizontal, é equilibrado por uma força de sustentação $\vec{S}$ de mesmo módulo, de mesma direção e de sentido oposto ao do peso. Essa força $\vec{S}$ se deve à diferença de pressão entre a parte inferior de cada asa (região de alta pressão) e o seu dorso (região de baixa pressão). A figura a seguir mostra a força peso e a força de sustentação que atuam sobre o avião (além delas, a figura mostra o impulso, que traciona o avião para frente, e a força de resistência do ar).

De acordo com a 1ª Lei de Newton, como o avião encontra-se em equilíbrio vertical, S = P = M.g = 628 230 N. Esse valor é igual ao produto entre a diferença de pressão ΔP, entre as pressões nas partes de baixo e de cima das asas, e a área A = 105,4 m² das asas, já que F = P.A:

628 230 = ΔP.105,4 ⇒ ΔP = 5 960,4 Pa

Como indicado na alternativa B.

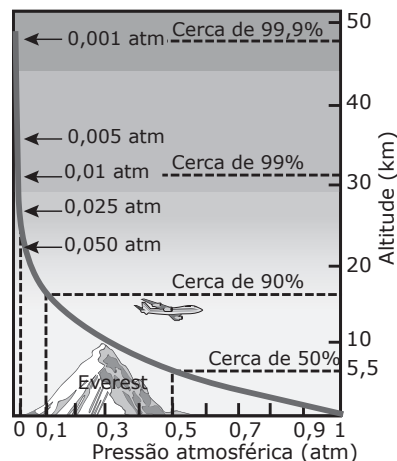
Questão 05 – Letra C

Comentário: Vamos chamar de m a massa de cada face do cubo menor. Portanto, a massa total desse cubo vale $m_1 = 6m$. Como o volume desse cubo é $V_1 = a^3$, a sua densidade é $d_1 = d = 6m/a^3$. O cubo maior tem aresta 2a, e a área de cada face é $4a^2$, o quádruplo da área a^2 de cada face do cubo menor. Logo, a massa de cada face do cubo maior vale 4m, e a massa total é $m_2 = 6.4m = 24m$. O volume do cubo maior é $V_2 = (2a)^3 = 8a^3$. Logo, a densidade do cubo maior é $d_2 = 24m/8a^3 = 3m/a^3$, que é a metade da densidade do cubo menor. Assim, $d_2 = d/2$, como afirmado na alternativa C.

Questão 08 – Soma = 54

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

01. Falso. Tomar uma bebida com canudinho implica causar um desequilíbrio entre as pressões que atuam sobre o ar dentro do canudinho (que deve ser menor) e sobre a superfície livre da bebida contida no copo. A maior pressão que atua sobre a superfície do líquido o "empurra" para a boca do indivíduo. Portanto, como não há atmosfera na Lua, não é possível tomar uma bebida usando canudinho lá. Na verdade, a própria bebida não permaneceria no estado líquido, pois, não havendo pressão sobre a bebida, ela passaria para o estado de vapor sem sofrer qualquer resistência.

02. Verdadeiro. A pressão atmosférica diminui à medida que a altitude aumenta em relação ao nível do mar. De forma aproximada, a pressão atmosférica se reduz à metade para cada aumento de 5,5 km na altitude, o que indica um comportamento exponencial dessa grandeza. Portanto, é possível encontrar a altitude em função da pressão atmosférica local. Veja o gráfico a seguir:

04. Verdadeiro. A pressão exercida pelo ar atua sobre uma pessoa imersa na atmosfera da Terra, comprimindo-a. Essa pressão é equilibrada pela pressão interna da pessoa, que age de dentro para fora de seu corpo. Por isso, se a pessoa fosse subitamente exposta ao vácuo, a pressão interna manteria-se constante e seria maior que a pressão externa. Dessa forma, a pressão interna forçaria a pele da pessoa a mover-se para fora do corpo e a pessoa explodiria. Um fenômeno contrário pode acontecer quando a pressão externa torna-se maior que a pressão interna, como no caso de um submarino que desce exageradamente dentro do mar.

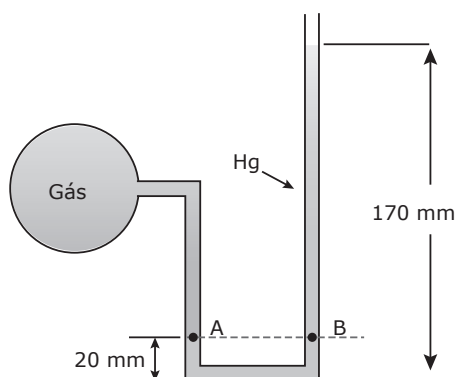
08. Falso. A pressão exercida por certo volume de líquido depende da densidade do líquido (ρ), da aceleração da gravidade local (g) e da altura da coluna de líquido (h), sendo dada pelo produto desses três valores (p = ρgh). Assim, na experiência de Torricelli, não é necessário conhecer o diâmetro do tubo, já que a pressão do líquido não é dependente deste.

16. Verdadeiro. Dentro de recipientes de certos produtos alimentícios, como o requeijão e o molho de tomate, há ausência de ar, de forma que a pressão atmosférica externa que age sobre o selo e sobre a tampa é muito maior do que a pressão interna. Quando arrancamos o selo, o ar externo penetra no recipiente, provocando o equilíbrio entre as pressões interna e externa. Por isso, após a retirada do selo, torna-se mais fácil abrir o recipiente, pois a força exercida pelas nossas mãos não terá mais de vencer a diferença entre as pressões interna e externa.

32. Verdadeiro. A pressão exercida pelo sangue é maior do que a pressão exercida pelo ar dentro da seringa. Por isso, o sangue flui da veia para a seringa.

64. Falso. A pressão atmosférica diminui com o aumento da altitude, conforme foi explicado no item 02. Portanto, a pressão atmosférica em São Joaquim é menor do que a pressão em Itajaí, que é uma cidade ao nível do mar.

Questão 10 – Letra D

Comentário: As pressões exercidas sobre os pontos A e B são iguais, pois ambos os pontos estão no mercúrio e acham-se no mesmo nível. A pressão em A é exercida pelo gás. A pressão em B é exercida pela coluna de 150 mm de Hg (170 – 20 mm) e também pela pressão atmosférica, que vale 750 mm de Hg. Assim, $P_B = P_A = 150 + 750 = 900$ mmHg, resultado expresso pela alternativa D.

Questão 15

Comentário: No experimento de Torricelli, a pressão atmosférica local é equilibrada pela pressão ρgh exercida pela coluna de líquido dentro do tubo, em que ρ é a densidade do líquido, g é a aceleração da gravidade, e h é a altura da coluna. No caso da cidade de Brasília, a altura dessa coluna de líquido é de 67 cm de mercúrio metálico (Hg). Como a densidade do mercuriocromo vale 0,99 g/cm^3, ou seja, 13,6/0,99 vezes menor do que a do Hg, concluímos que a altura h da coluna de mercuriocromo no tubo deve ser 13,6/0,99 vezes maior que a altura da coluna de Hg submetido à mesma pressão. Logo, h = 67 cm.13,6/0,99 = 924 cm $\Rightarrow$ h = 92 dm.

Um comentário que vale a pena fazer em sala de aula é que a densidade de 0,99 g/cm^3 do mercuriocromo é quase igual à densidade da água, que vale 1,0 g/cm^3. Se considerarmos que a coluna de 76 cm de Hg equivale à pressão atmosférica ao nível do mar, e que a densidade da água é igual a 1,0 g/cm^3, podemos calcular o valor da altura de uma coluna de água que equivale à pressão atmosférica; essa altura é igual a 76.13,6/1,0 = 1 033,6 cm = 10,336 m $\cong$ 10 m. Portanto, a pressão atmosférica ao nível do mar (1 atm) é equivalente à pressão de uma coluna de 10 m de água. Esse é um resultado que vale a pena ser memorizado pelos alunos, pois muitos problemas podem ser resolvidos rapidamente com essa informação. Um exemplo de aplicação seria determinar o valor da pressão a, por exemplo, 20 m abaixo da superfície do mar. Em sua superfície, a pressão é de 1 atm, e, a cada 10 m de profundidade, a pressão aumenta mais 1 atm. Por isso, a 20 m de profundidade, a pressão é de 3 atm.

Questão 18

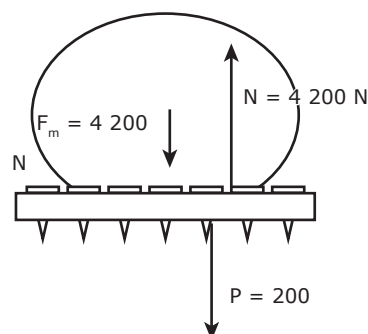
Comentário:

A) A velocidade do saco, depois de ser abandonado e bater na tábua situada 5 m abaixo, pode ser obtida pela equação de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2.10.5} = 10 \text{ m/s}$$

B) A força média pode ser obtida pela relação entre o impulso e a variação quantidade de movimento sobre o saco de areia durante o movimento de parada sobre a tábua. Na verdade, a aplicação dessa equação fornece a força resultante que irá parar o saco de areia:

$I = \Delta Q \Rightarrow F_R \Delta t = mv \Rightarrow$
$F_R.0,05 = 20.10 \Rightarrow$
$F_R = 4\ 000$ N

A figura a seguir mostra as forças que atuam no saco de areia: o peso P = 20.10 = 200 N e a reação normal da tábua. Note que N = 4 200 N. Da mesma forma, conclui-se que a força média também vale 4 200 W.

C) A força de 4 200 N divide-se entre os 400 pregos. Assim, a pressão que cada prego exerce sobre o peito do homem é:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{(4200/400)\text{N}}{4 \text{ mm}^2} = 2,625 \text{ N/mm}^2 = 262,5 \text{ N/cm}^2$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: IV

Competência de área: 3

Habilidade: 12

Comentário: Para reduzir os efeitos da compactação do solo, é necessário justamente diminuir a pressão exercida pelas máquinas. Vamos observar a equação que calcula a pressão exercida por um corpo de peso P sobre uma área A:

$$p = P/A$$

Uma possibilidade seria reduzir o peso P, mas isso poderia tornar a máquina inviável economicamente e diminuir sua eficiência. Resta, portanto, aumentar a área A sobre a qual a pressão é exercida. Isso é possível aumentando a superfície de contato entre os pneus e o solo, ou seja, aumentando a largura dos pneus.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 5

Habilidade: 21

Comentário: Como Júpiter é gasoso, a massa da listra no hemisfério sul pode ter sofrido uma expansão. Assim, a matéria presente nessa listra teria sido dispersada. Isso também ocorre com as nuvens na Terra. Da mesma forma que a densidade de uma nuvem diminui quando ela se dispersa, a listra de Júpiter pode ter se dispersado com uma consequente redução de densidade.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A altura que está associada ao valor da pressão da água da ducha é aquela entre o ponto de saída da água e a superfície livre que está em contato com a pressão atmosférica, portanto a altura h_3. Essa relação se dá por meio da Lei de Stevin:

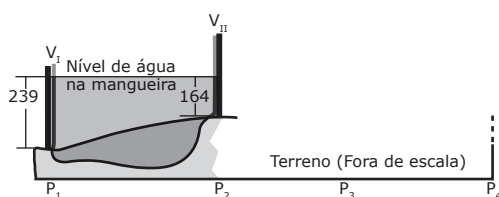
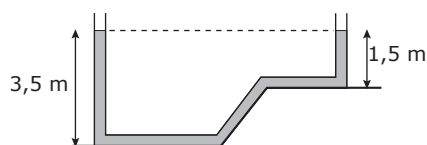
$p = \rho g h_3$ (pressão na saída da água)

Questão 04 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário:

Segundo a equação de Stevin, as superfícies da água nas duas extremidades de uma mangueira cheia de água devem situar-se no mesmo nível, isto é, sobre uma mesma horizontal, pois as pressões são iguais nas duas extremidades (iguais à pressão atmosférica). A figura a seguir mostra uma situação em que a extremidade direita da mangueira acha-se em uma parte na qual o solo está a uma altitude maior. É fácil ver que a coluna de água do lado direito, de 1,5 m de altura, é menor do que a coluna de líquido de 3,5 m, no lado esquerdo, onde o solo é mais baixo. Por meio dessas duas medições, concluímos que o solo se eleva 2 m quando nos movemos da esquerda para a direita. Naturalmente, se a altura da coluna do lado direito fosse de 5,5 m, teríamos uma descida de desnível igual a 2 m, movendo-se da direita para a esquerda. Assim, os técnicos conseguem fazer o levantamento topográfico de um terreno com uma simples mangueira com água.

No caso dessa questão, a primeira medição revela que o terreno se eleva 75 cm quando nos movemos do ponto P_1 ao ponto P_2, pois a coluna de água em P_2 é 75 cm menor do que a coluna de água no braço da mangueira que se acha em P_1 (239 cm − 164 cm). Depois, de P_2 para P_3, o terreno sofre um abaixamento de 25 cm, pois, em P_3, a coluna tem uma altura 25 cm maior do que a coluna em P_2 (189 cm − 214 cm). Por fim, o terreno volta a se elevar do ponto P_3 ao ponto P_4, pois a coluna de água em P_4 torna-se 55 cm menor do que em P_3 (229 cm − 174 cm).

Observações:

- A altura da coluna de água em certo ponto (por exemplo, P_2) pode variar de uma medição para outra (observe que, na 1ª medição, a altura da coluna em P_2 vale 164 cm, enquanto, na 2ª medição, é de 189 cm). De fato, o que importa não é o valor absoluto da altura da coluna de água, mas sim a diferença entre as alturas de duas colunas de água em dois pontos.
- Não é preciso que a mangueira acompanhe exatamente o perfil do terreno (como ocorre na figura anterior). No desenho dessa questão, observe que isso não ocorre. O importante é medir as alturas das colunas de água em dois pontos distintos ao longo do terreno e calcular a diferença entre essas alturas.
- Quanto mais próximos estiverem os dois pontos envolvidos em uma das medições, maior será a precisão do traçado da topografia do terreno.

Questão 05 – Letra B

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 5

Habilidade: 17

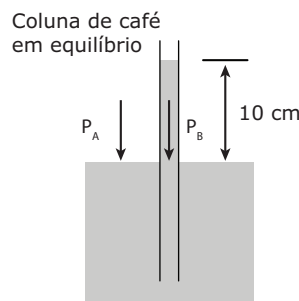
Comentário: O Teorema de Stevin afirma que a pressão em um determinado ponto de um fluido depende diretamente da altura da coluna desse fluido sobre o ponto, o que é expresso pela equação $p = \rho gh$. No caso do tanque, essa altura é determinada pelo volume de água nele contida e, por isso, essa é a grandeza associada à economia resultante desse tipo de dispositivo.

Questão 06 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Considere que a pessoa exerça uma pressão na tampa da garrafa de forma que a coluna de café no tubo fique parada a 10 cm da superfície livre do café (figura da questão). De acordo com a equação fundamental da hidrostática (equação de Stevin), a pressão p_A, exercida pelo ar dentro da garrafa, é igual à pressão p_B, dentro do tubo, exercida pela coluna de café no mesmo nível da superfície livre deste (figura seguinte).

Como o tubo se comunica com o exterior, a pressão p_B pode ser calculada por $p_{atm} + \rho gh$. A primeira parcela é a pressão atmosférica (p_{atm} = 1 atm). A segunda parcela é o produto de três fatores: ρ é a densidade do café (quase igual à densidade da água), g é a aceleração da gravidade e h é a altura da coluna, que é de 10 cm. Como uma coluna de água de 10 m (1 000 cm) exerce uma pressão de 1 atm, a coluna de 10 cm de café exercerá uma pressão de apenas 1/100 de 1 atm. Assim, a pressão na superfície do café vale $p_A = 1 + 0{,}01 = 1{,}01$ atm. Se essa pressão for um pouco maior (por exemplo, 1,02 atm), o café sairá pelo tubo. Portanto, para um esforço mínimo exercido pela pessoa que aperta a tampa, a pressão do ar na superfície livre do café será ligeiramente maior que 1 atm.

MÓDULO – B 12

Teoremas de Pascal e Arquimedes

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: A força F_1 é dada pelo produto entre a pressão do ar comprimido no lado esquerdo do elevador e a área do êmbolo no cilindro neste lado:

$F_1 = P_1.A_1 = 2x10^5.\pi(5{,}00 \times 10^{-2})^2 = 500\pi \text{ m}^2$

O peso do carro é dado pelo produto dessa força pela vantagem mecânica do elevador. Como o raio do cilindro maior é 3 vezes maior que o raio do cilindro menor, a área do cilindro maior é 9 vezes maior que a do cilindro menor. Portanto, a vantagem mecânica do elevador é $V_m = 9$. Assim, o peso do carro é:

$P = F_1.9 = 4\,500\pi$ N

Resultado expresso na alternativa D.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Há dois multiplicadores de força no sistema de freios apresentado nesse exercício: a alavanca interfixa do próprio pedal e o cilindro de freio. Na alavanca, a vantagem mecânica vale $V_{m1} = L/l = 40$ cm/10 cm = 4. No cilindro cheio de óleo, a vantagem mecânica é $V_{m2} = A/a = 8$. A vantagem mecânica total é $V_{mt} = 4.8 = 32$.

Questão 03 – Letra D

Comentário: Como o objeto em questão está flutuando na água, podemos inferir, pela 1ª Lei de Newton, que seu peso ($\vec{P}$) terá mesmo módulo do empuxo ($\vec{E}$) exercido pela água. Pelo Teorema de Arquimedes, o empuxo é numericamente igual ao peso do líquido deslocado. Como os módulos do peso do bloco e do empuxo são iguais, o peso da água deslocada será igual ao peso do bloco, resultado mostrado na alternativa D.

Questão 04 – Letra E

Comentário: O empuxo sobre o navio é igual ao volume da água deslocada:

$E = \rho V_{LD}\, g = 1\,000$ kg/m³.1 000 m³.10 m/s² = 1,0 x 10⁷ N

Como o navio flutua, o peso total da embarcação é igual ao empuxo. Assim:

$(5 \times 10^4 \text{ kg} + m_{areia}).10 \text{ m/s}^2 = 1,0 \times 10^7 \text{ N} \Rightarrow$

$m_{areia} = 9,5 \times 10^5 \text{ kg} = 950 \times 10^3 \text{ kg} = 950$ toneladas

Questão 05 – Letra B

Comentário: Como o bloco de madeira está em equilíbrio mecânico, o módulo do seu peso será igual ao módulo empuxo a que está submetido. Como o volume de água deslocado é igual à diferença entre o volume total do bloco e seu volume emerso, temos:

$P = E \Rightarrow (\rho_m.V).g = \rho_a.g.(V - V_E) \Rightarrow V(\rho_m - \rho_a) = -\rho_a.V_E \Rightarrow$

$V_E/V = (\rho_a - \rho_m)/\rho_a$

Como mostrado na alternativa B.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra C

Comentário: De acordo com o Princípio de Pascal, a pressão p exercida em um líquido é transmitida integralmente através do fluido para todos os seus pontos. A força F, assim, também é transmitida, mas o seu valor muda de acordo com o valor da área A de atuação. Isso ocorre porque a força pode ser calculada por meio da equação F = pA, e, como p é fixo, F é diretamente proporcional à área A. Logo, no cilindro de maior área, a força exercida também é maior, e a alternativa C é a correta.

Questão 04 – Letra E

Comentário: Note que, das cinco opções de respostas, três são referentes à joia feita em ouro puro. Vamos partir dessa premissa e verificar se ela procede. Se toda a massa da joia é feita em ouro, isso significa que sua massa é 0,2895 kg (ou 289,5 g, que é o valor citado na alternativa E), pois, no ar, onde o empuxo é nulo, o peso da joia é 2,895 N. Na água, o peso aparente é a diferença entre o peso real (peso no ar) e o empuxo (peso da água deslocada). Para calcular o empuxo, primeiro vamos calcular o volume V da joia. Se ela é de ouro maciço, V é função da massa e da densidade do ouro: V = 289,5/19,3 = 15 cm³. Esse volume é também o volume da água deslocada quando a joia está completamente submersa. Assim, o empuxo na joia é E = (0,001 kg/cm³).(15 cm³).(10 m/s²) = 0,15 N. O módulo do peso aparente é, portanto, P – E = 2,895 – 0,15 = 2,745 N. Como esse valor é exatamente igual ao valor fornecido no enunciado do exercício, concluímos que a premissa de que a joia era feita toda em ouro puro estava correta, ou seja, alternativa E está correta.

No caso de a joia ser formada por dois metais, é necessário achar duas equações envolvendo as massas de cada uma das partes e resolver um sistema de duas incógnitas. Vamos chamar de V_1 e m_1 o volume e a massa da prata, e de V_2 e m_2 os valores correspondentes para o ouro. Os volumes V_1 e V_2 (em m³) podem ser determinados em função da massa (em kg) e da densidade (em kg/m³) dos metais, conforme está indicado na figura a seguir:

A massa total da joia é:

$$m_1 + m_2 = 0,2895 \text{ kg (Equação 1)}$$

Para achar a 2ª equação do sistema, vamos usar o módulo do peso aparente, 2,745 N, que é a diferença entre P = 2,895 N e o empuxo, que vale $E = \rho_{água}(V_1 + V_2)g$. Substituindo os volumes V_1 e V_2 pelas expressões indicadas na figura anterior, achamos:

$2,745 = 2,895 - 1\,000\,(m_1/10\,500 + (m_2/19\,300).10$ (Equação 2)

O resultado do sistema de equações é $m_1 = 0$ e $m_2 = 0,2895$ kg.

Questão 06 – Letra A

Comentário: Quando um corpo flutua em repouso em um líquido, o módulo do empuxo $\vec{E}$ exercido pela água sobre o corpo é igual ao módulo do peso $\vec{P}$ do corpo (1ª Lei de Newton). Por outro lado, o empuxo tem o mesmo módulo do peso do líquido deslocado P' (Princípio de Arquimedes). Portanto, P = P', ou, ainda, mg = m'g, implicando igualdade entre a massa m do corpo e a massa m' de líquido que esse desloca. Assim, a massa m' de água que o corpo desloca e que cai fora da balança é igual à própria massa m do corpo colocado na água. Dessa forma, a leitura da balança não se altera, como afirma a alternativa A.

Questão 09 – Letra D

Comentário: Como as esferas possuem volumes iguais, elas deslocam a mesma quantidade de água, de forma que os empuxos sobre elas são iguais. No caso da esfera I, chamando de $\vec{T}_1$ a tração que atua sobre ela, que está pendente por um fio, é fácil ver que $T_1 + E = P$, e seu peso é maior que o empuxo que age sobre ela. A esfera II puxa o fio para cima, e, chamando de $\vec{T}_2$ a tração no fio nessa situação, temos que $T_2 + P = E$. Assim, a esfera II possui um peso menor do que o empuxo, como está escrito na alternativa D.

Questão 10 – Letra A

Comentário:

I. Verdadeiro. O empuxo que age na boia (e no restante do equipamento) equilibra o peso do conjunto, que é o mesmo no mar e no lago. Como a densidade da água do mar é maior que a densidade da água do lago, o volume imerso da boia no mar é menor que o volume correspondente no mar. Esse volume define o peso de água deslocada pela boia, e que é igual ao empuxo sobre a boia. Professor, chame a atenção dos alunos para o fato de que essa afirmativa I refere-se ao volume emerso (volume que está fora da água), e não ao volume imerso. Obviamente, como o volume imerso da boia no mar é menor, o volume emerso é maior.

II. Falso. A boia sempre possui inércia (massa), independe de onde ela está.

III. Falso. Além do peso do conjunto, existe também o empuxo. Como essa força é voltada para cima, ela colabora para o corpo subir. Assim, para erguer o conjunto, a intensidade da força na ponta do fio (igual à intensidade da força na ponta da vara) deve ser ligeiramente maior do que o peso do conjunto menos o empuxo sobre o conjunto.

Questão 13

Comentário:

A) Em geral, corpos rolantes, como os pneus de um carro ou as rodinhas dos pés de uma geladeira, sofrem atrito estático. Porém, no caso desse exercício, como as rodas travaram, parando de girar, a aceleração de frenagem do carro é proporcionada por uma força de atrito cinético entre o pneu e o solo. Usando a 2ª Lei de Newton, obtemos a aceleração de frenagem:

$mg\mu_C = ma \Rightarrow a = g\mu_C = 10.0{,}8 = 8{,}0 \text{ m/s}^2$

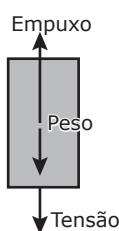
Podemos achar a distância percorrida durante a frenagem a partir da equação de Torricelli:

$v^2 = v_0^2 - 2ad \Rightarrow 0^2 = 20^2 - 2.8{,}0.d \Rightarrow d = 25 \text{ m}$

B) Existem dois dispositivos multiplicadores de força no sistema de freios. O primeiro é a alavanca do pedal de freio. Como o braço de ação (distância 4d do ponto de aplicação da força no pedal até a articulação da alavanca) é 4 vezes maior do que o braço de resistência (distância d da força de reação do cilindro 1 até a articulação), concluímos que a força feita pelo motorista é transmitida com módulo 4 vezes maior, já que os momentos (F.d) dessas duas forças em relação ao eixo devem ter mesmo módulo. Essa força no êmbolo do cilindro 1, juntamente com o cilindro 2 e a mangueira de óleo de ligação, forma o segundo dispositivo. De acordo com o Princípio de Pascal, a pressão aplicada pelo cilindro 1 é transmitida integralmente para o cilindro 2, com a força sendo proporcional às áreas dos êmbolos dos cilindros. Como o raio do cilindro 2 é o triplo do raio do cilindro 1, a área A_2 é 9 vezes maior do que a área A_1. Portanto, a força transmitida a esse dispositivo torna-se 9 vezes maior. O ganho final é o produto das multiplicações parciais de forças em cada dispositivo. Por isso, a força final é 4 x 9 = 36 vezes maior que a força aplicada no pedal, ou seja, $F_{C2} = 36F_{pedal}$. Portanto, $F_{pedal}/F_{C2} = 1/36$.

Questão 15

Comentário:

A) O peso da rolha é exercido pela Terra, o empuxo sobre a rolha é exercido pela água, e a força de tensão é exercida pelo fio.

B) A massa específica da rolha (densidade) é dada por:

$\rho_R = \text{massa/volume} \Rightarrow$
$\rho_R = 3{,}14 \times 10^{-3} \text{ kg}/[3{,}14.(1{,}0 \times 10^{-2} \text{ m})^2.5{,}0 \times 10^{-2} \text{ m}] \Rightarrow$
$\rho_R = 2{,}0 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$

C) A força que a rolha exerce sobre o fio (T) tem o mesmo módulo da força que o fio exerce sobre a rolha (ação e reação). Como a rolha está em equilíbrio, temos T = E – P. O peso da rolha é $P = mg = 3{,}14 \times 10^{-2}$ N. O empuxo é dado por:

$E = \rho_{água}.\text{volume submerso}.g \Rightarrow$
$E = 1{,}0 \times 10^3.3{,}14.(1{,}0 \times 10^{-2})^2.2{,}5 \times 10^{-2}.10 \Rightarrow$
$E = 7{,}85 \times 10^{-2} \text{ N}$

Portanto:
$T = (7{,}85 - 3{,}14) \times 10^{-2} = 4{,}71 \times 10^{-2} \text{ N} = 4{,}7 \times 10^{-2} \text{ N}$

Seção Enem

Questão 01 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Quando a garrafa é apertada, uma pressão extra é transmitida para todos os pontos dentro da água. Por isso, o aumento da pressão debaixo da boca do frasco resulta em um fluxo de água para o interior deste recipiente, como afirma a alternativa C. Com mais água em seu interior, o peso do conjunto frasco-água aumenta. No entanto, o empuxo sobre o conjunto frasco-água permanece o mesmo, pois o volume externo do frasco é fixo. Assim, há um desequilíbrio de forças, de forma que o módulo do empuxo fique menor que o módulo do peso do conjunto. É por isso que o frasco afunda quando a garrafa plástica é apertada. Embora a questão não explore o movimento de subida do frasco, vale a pena comentar que, se o aperto na garrafa for interrompido, a pressão interna diminuirá em todos os pontos, e a água em excesso no frasco voltará para a garrafa. Então, o peso do conjunto frasco-água diminuirá, de forma que o módulo do peso torne-se menor que o módulo do empuxo. O resultado será que o frasco subirá, retornando à sua posição inicial.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A primeira observação que devemos fazer é que, se a piscina for preenchida com água, a escultura não deverá flutuar, pois a densidade média da escultura provavelmente deverá ser maior que a densidade da água, ainda que algumas partes da peça possam ser ocas. A maior facilidade em remover a escultura da piscina, quando esta é preenchida com água, decorre do aparecimento do empuxo que a água exerce sobre a escultura. Essa força é voltada para cima e o seu valor é igual ao peso da água deslocada. Para a escultura submersa na água, o volume de fluido deslocado é o próprio volume da escultura. Para iniciar o movimento de subida da escultura, a soma da força exercida pelos operários com o empuxo deverá ser maior que o peso da peça. É por isso que a tarefa de retirar a escultura da piscina preenchida com água é mais fácil do que com a piscina vazia. É claro que o empuxo que atua na escultura irá desaparecer quando esta estiver emersa. Os operários sentirão a diminuição da intensidade do empuxo à medida que a peça for saindo da água. O mesmo acontece quando uma âncora é retirada do mar.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: O álcool, para atender as especificações de boa qualidade, deve ter uma densidade compreendida entre 0,805 g/cm³ e 0,811 g/cm³. Assim, uma das esferas dentro do cilindro de álcool deve ter uma densidade ligeiramente maior do que 0,811 g/cm³ (digamos, 0,812 g/cm³), de forma que ela sempre afunde no álcool, mesmo que ele esteja com a densidade máxima permitida. É isso que ocorre na amostra 2, na qual a esfera clara, que está no fundo, tem densidade maior que o álcool. A outra esfera deve ter densidade ligeiramente menor do que 0,805 g/cm³ (digamos, 0,804 g/cm³), a fim de sempre flutuar no álcool, ainda que ele tenha a densidade mínima permitida. Na amostra 2, essa esfera é a mais escura, pois ela flutua no álcool.

No caso da amostra 1, o álcool está adulterado com uma densidade maior do que a máxima densidade permitida. Como as duas esferas flutuam, o álcool está com uma densidade certamente maior do que aquela da esfera mais densa. Por exemplo, o álcool pode estar irregular com uma densidade igual a 0,819 g/cm^3.

No caso da amostra 3, o álcool está adulterado com uma densidade menor do que a mínima permitida. Como as duas esferas acham-se no fundo do cilindro, o álcool está com uma densidade certamente menor do que aquela da esfera menos densa. Por exemplo, o álcool pode estar irregular com uma densidade de 0,801 g/cm^3.

Questão 04 – Letra B

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A diferença entre as duas medições do peso do bloco é de 6 N. Essa diferença existe porque, quando o bloco está parcialmente submerso na água, ela o empurra para cima com uma força vertical contrária ao peso de módulo 6 N. Sendo o volume submerso igual à metade do volume do bloco, teremos V_{sub} = (0,10 m)³/2 = 5 x 10⁻⁴ m³. A densidade da água do lago pode ser obtida por meio da equação do empuxo:

$$E = \rho_L.V_{LD}.g \quad 6,0 = \rho_L.5 \times 10^{-4}.10 \Rightarrow$$

$$\rho_L = 1\,200 \text{ kg/m}^3 = 1,2 \text{ g/cm}^3$$

MÓDULO – C 11

Ondas estacionárias

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: A onda estabelecida na corda é estacionária. As cordas de Sílvia e Patrícia vibram no 3º e 5º harmônico, respectivamente (número de ventres presentes na figura). As frequências desses harmônicos são $f_S = 3.f_1$ e $f_p = 5.f_1$ (sendo f_1 a frequência do modo fundamental). Assim, a relação pedida é: $f_S/f_P = 3.f_1/5.f_1 \Rightarrow f_S/f_P = 0,6$.

Questão 02 – Letra C

Comentário: A figura mostra o terceiro harmônico da onda estacionária (três ventres). Como as frequências dos diversos harmônicos estão relacionadas por $f_N = N.f_1$, a frequência fundamental será $f_1 = f_3/3 = 360/3 = 120$ Hz. Com o aumento da frequência do oscilador, a próxima configuração harmônica será composta de cinco nós e quatro ventres (4º harmônico), cuja frequência será $f_4 = 4.f_1 = 4.120 = 480$ Hz. Dessa forma, a alternativa correta é a C.

Questão 03 – Letra D

Comentário: A onda estacionária na água, nesse caso, é semelhante à onda numa corda presa nas duas extremidades. Como o comprimento de cada "ventre" é 50 cm, em uma piscina de 50 metros irão se formar 100 ventres.

O comprimento de cada "ventre" é metade do comprimento de onda (λ). Logo, o comprimento de onda (λ) é o dobro do tamanho do "ventre" $\Rightarrow \lambda = 100$ cm $= 1,0$ m.

Questão 04 – Letra E

Comentário: Deve-se chamar a atenção dos alunos para questões que envolvam tubos com uma extremidade aberta e outra fechada ou com cordas com uma extremidade presa e a outra livre para se mover, como é o caso dessa questão.

A frequência fundamental em um tubo fechado é: $f_1 = V/4L = 340/4.0,25 = 340$ Hz. A frequência de qualquer outro harmônico será: $f_N = N.f_1$, sendo N um número ímpar (1, 3, 5, ...), correspondente ao número de nós ou ventres da onda em questão. O número do harmônico correspondente será: N = 1 700/340 = 5, correspondente ao "terceiro" harmônico possível. Logo, a onda terá 3 nós e 3 ventres, como mostra a alternativa E.
Observação: Mostre que pode-se trabalhar, nesse caso, com a seguinte relação: $f_N = (2N - 1).\ f_1$, com N sendo um número natural que caracteriza o número de nós ou de ventres presentes. Lembre-se de que (2N – 1) apresenta apenas números ímpares. Usando essa relação, temos: $f_N = (2N - 1).\ f_1 \Rightarrow 1\,700 = (2N - 1).340 \Rightarrow N = 3$ nós = 3 ventres.

Questão 05 – Letra D

Comentário: Quando uma força externa oscilante atua sobre um sistema com a mesma frequência natural de vibração desse sistema, ele pode entrar em ressonância com o agente externo. Dessa forma, a amplitude de oscilação natural do sistema aumenta e este pode entrar em colapso. Conclui-se, portanto, que D é a alternativa correta.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra B

Comentário: Como o motor executa pequenas oscilações transversais, podemos considerar que nessa extremidade exista um nó. Assim, temos uma corda oscilante cuja frequência, de segundo harmônico, vale $f_2 = v/L$. Então, $v = f_2.L = 10.2 = 20$ m/s. A velocidade da onda na corda tracionada pode ser relacionada à tensão no fio através da seguinte equação:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad 20 = \sqrt{\frac{T}{0,05}} \quad T = 20 \text{ N}$$

Questão 04 – Letra C

Comentário: A questão aborda uma situação interessante de onda estacionária em cordas. A extremidade da direita não está fixa e pode oscilar livremente. Assim, essa extremidade é um ventre. Considerando que o vibrador oscila com pequena amplitude, a extremidade da esquerda será um nó, conforme mostra a figura do exercício. Logo, uma corda com tais características só apresenta harmônicos ímpares (de forma semelhante a um tubo fechado). A figura nos permite determinar o comprimento de onda:

$L = \lambda + \lambda/4 = 5\lambda/4 \Rightarrow \lambda = 4L/5 = 4.1,25/5 \Rightarrow \lambda = 1,0$ m
Como $v = \lambda.f$, temos:
$v = 1,0.60 \Rightarrow v = 60$ m/s

Resultado encontrado na alternativa C.

Questão 05 – Letra A

Comentário: A frequência fundamental em uma corda presa nas extremidades é $f_1 = v/2L$, e a velocidade da onda na corda é $v = \sqrt{T/\mu}$.
Veja que, para dobrar a frequência fundamental, mantendo o comprimento da corda, devemos dobrar a velocidade da onda. Para tal, a tensão que se aplica sobre a corda deve ser quadruplicada, como é afirmado na alternativa A.

Questão 07 – Letra D

Comentário: Veja que os pontos da figura estão igualmente espaçados. Assim, com a corda pressionada em C, os pontos A, C, E e G serão nós da onda estacionária que se forma na corda, já que a distância BC equivale a meio comprimento de onda. Os pontos B, D e F serão ventres da onda estacionária que se formará na corda. Dessa forma, apenas os papéis colocados em D e F irão vibrar. Sendo assim, D é a afirmativa correta.

Questão 08 – Letra D

Comentário: Sendo a velocidade de propagação da onda na corda igual a 320 m/s e sua frequência de vibração igual a 80 Hz, seu comprimento de onda será igual a 4 m. Como a distância entre o oscilador e a parede é de 8 m, caberão exatamente duas ondas completas nesse espaço, configuração mostrada na alternativa D.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Primeiramente, o aluno deve perceber que não se sabe em qual harmônico o ar está ressonando. No entanto, o conhecimento dessa informação não é necessário para a solução do problema. Basta saber que a distância entre dois nós consecutivos corresponde a meio comprimento de onda ($\lambda/2$). Usando $\lambda = v/f$, temos:

$$\lambda = 340/680 = 0,50 \text{ m}$$

Assim, a distância entre dois nós consecutivos quaisquer será:

$$\overline{NN} = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

Resultado encontrado na alternativa C.

Questão 12 – Letra B

Comentário: As frequências fundamentais dos tubos aberto e fechado são, respectivamente, $f_A = v/2L$ e $f_F = v/4L$. Assim, os tubos estão ressonando nas frequências $f_{A_4} = 4f_A = 4V/2L = 8V/4L$ e $f_{F_9} = 9f_F = 9V/4L$. Dessa forma, o intervalo entre os sons emitidos pelos tubos é $i = f_{F_9}/f_{A_4} = 9/8$. Isso corresponde a um intervalo de tom maior, como afirma a alternativa B.

Questão 15 – Letra C

Comentário: Como os tubos 1 e 3 são fechados em uma das extremidades e os tubos 2 e 4 são abertos, temos que as frequências fundamentais dos tubos são:

$f_1 = v/4L_1 = v/4L = 2v/8L$

$f_2 = v/2L_2 = v/2L = 4v/8L$

$f_3 = v/4L_3 = v/4(2L/3) = 3v/8L$

$f_4 = v/2L_2 = v/2(2L/3) = 3v/4L = 6v/8L$

Assim, $f_4 > f_2 > f_3 > f_1$, ou seja, alternativa C.

Questão 17 – Letra E

Comentário: A cavidade funciona como um tubo sonoro (aberto ou fechado). Assim, o ruído externo que adentra a concha faz com que o ar no seu interior entre em ressonância. Isso aumenta a amplitude do ruído, e este passa a ser percebido pelo ouvido. Como a concha funciona como um tubo sonoro, a frequência fundamental vai depender das suas dimensões (forma geométrica). Tudo isso é corretamente mencionado na alternativa E.

Questão 19

Comentário: A figura representa um tubo sonoro fechado em uma das extremidades. Assim, a primeira e a segunda frequências ressonantes são $f_1 = v/4L$ e $f_3 = 3v/4L$ (presença apenas de harmônicos ímpares). Logo, o comprimento do tubo de ar na próxima ressonância será $L_3 = 3L_1$, ou seja, $L_3 = 3.18 = 54$ cm.

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 1

Comentário: De acordo com a figura do exercício, o ouvido pode ser considerado um tubo sonoro fechado em uma das extremidades (nó em uma extremidade e ventre na outra). Assim, a frequência fundamental do som formado no ouvido vale f = v/4L, em que v = 340 m/s é a velocidade do som no ar, e L = 3,4 cm é o comprimento do canal auditivo. Assim:

$$f = \frac{v}{4L} = \frac{340}{4.3,4 \times 10^{-2}} = 2\,500 \text{ Hz} = 2,5 \text{ kHz}$$

Essas informações estão contidas na alternativa B.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: Aquelas partes que apresentem frequências de vibração próximas à frequência com que a torcida fornece energia à estrutura entram em ressonância. Assim, o aumento de amplitude de vibração é pequeno e restrito a elas. As demais partes da estrutura recebem parte da energia fornecida pela torcida, mas não ressoam. Dessa forma, a estrutura como um todo mantém a estabilidade, como argumentado na alternativa E.

MÓDULO – C 12

Som e efeito Doppler

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra A

Comentário: O maior comprimento de onda corresponde ao som de maior período ($Lá_3$). Essa onda tem amplitude de 4,0 cm. No instante 0,3 s, os sons 3 e 4 somam 4,0 cm. O $Lá_5$ tem período $T_5 = 0,4$ s $\Rightarrow f_5 = 2,5$ Hz. O período do som composto é 1,6 s.

Questão 02 – Letra B

Comentário: As ondas sonoras que se propagam no ar são geradas pela vibração da corda do violão. Dessa forma, a frequência do som tem de ser igual à frequência de vibração da corda, que é a fonte da onda sonora. Entretanto, a onda na corda e o som no ar têm velocidades de propagação diferentes, pois seus meios de propagação são distintos, e, consequentemente, comprimentos de ondas distintos. Em relação às amplitudes de vibração da corda e das moléculas do ar, não faz sentido comparar tais grandezas, pois uma onda é transversal, e a outra é longitudinal.

Questão 03 – Letra D

Comentário: Chame a atenção dos alunos para a escala horizontal. Nela, cada risco entre 100 Hz e 1 000 Hz corresponde, respectivamente a 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, ... Assim, o som do Lá é notado pelos dois ouvidos, mesmo com pequena intensidade, mas o ouvido direito o ouve melhor. A pessoa escuta sussurros (sons de baixo nível sonoro) entre 100 Hz e 220 Hz. Nas frequências mais altas o ouvido direito é mais sensível. Os sons sussurrados, abaixo de 15 dB, são notados apenas pelo ouvido direito.

Questão 04 – Letra A

Comentário: Como a ambulância se desloca para a direita, os pontos nessa região recebem um maior número de cristas em cada intervalo de tempo, dando a sensação de que o comprimento de onda diminuiu (e que a frequência aumentou). A alternativa C será a resposta, apenas se a ambulância se deslocar com uma velocidade $V = V_{som} \cong 1\,224$ km/h = 340 m/s (o que é impossível nas circunstâncias atuais).

Questão 05 – Letra C

Comentário: Se o morcego vai perceber uma frequência (f) da onda refletida pela superfície, ele funciona como o observador. Devido ao movimento de aproximação do morcego, a superfície refletora funciona como uma "fonte" de ondas em movimento, com a mesma velocidade do animal. Dessa forma, temos fonte e observador se aproximando um do outro com o mesmo valor de velocidade (v_0). Assim, a frequência recebida pelo morcego pode ser calculada por:

$$f = f_0 \frac{v + v_0}{v - v_0} \qquad fv - fv_0 = f_0 v + f_0 v_0$$

Somando $f_0 v_0$ aos dois termos, temos:

$fv - fv_0 + f_0v_0 = f_0v + f_0v_0 + f_0v_0 \Rightarrow$

$fv - fv_0 - f_0v + f_0v_0 = 2f_0v_0 \Rightarrow$

$f(v - v_0) - f_0\,(v - v_0) = 2f_0v_0 \Rightarrow$

$(f - f_0)(v - v_0) = 2f_0v_0 \Rightarrow$

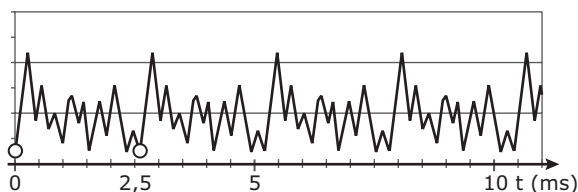
$$(f - f_0) = \frac{2f_0v_0}{(v - v_0)} \Rightarrow$$

$$\Delta f = f_0 \frac{2v_0}{v - v_0}$$

Expressão encontrada na alternativa C.

Exercícios Propostos

Questão 02 – Letra C

Comentário: A figura a seguir mostra a tela do monitor. Veja que o intervalo de tempo entre os dois instantes marcados determinam uma oscilação completa da onda. Esse intervalo de tempo é o período da onda.

Pela leitura da tela, concluímos que o período da onda é $T \cong 2{,}6$ ms. A frequência da onda pode ser calculada por:

$$f = 1/T \cong 1/2{,}6 \text{ ms} = 1/2{,}6 \times 10^{-3} \text{ s} \cong 384 \text{ Hz}$$

Assim, o som emitido pelo violino corresponde à nota sol.

Questão 04 – Letra B

Comentário: Vamos analisar as afirmações:

I. Correto. As ondas apresentam a mesma altura (mesma frequência), pois têm o mesmo período (tempo de uma oscilação completa de uma onda).

II. Incorreto. Cada uma das ondas apresenta um timbre distinto, característico de sua fonte emissora, o que pode ser percebido pelas diferentes formas das ondas.

III. Incorreto. A onda produzida pelo violino se propaga no ar com a mesma frequência que apresentava na corda do instrumento (a corda é a fonte da onda sonora correspondente). Como as velocidades dessa onda são diferentes na corda e no ar, os seus comprimentos de onda também são distintos.

IV. Incorreto. As ondas sonoras são longitudinais.

Como somente a afirmação I é verdadeira, a alternativa correta é a B.

Questão 06 – Letra A

Comentário: A onda sonora é caracterizada por regiões de alta e de baixa densidade, regiões de compressões e rarefações, respectivamente. Se a fonte aumentar a intensidade da onda sonora (mais energia é fornecida a cada partícula), as amplitudes de oscilação das moléculas devem aumentar. Assim, cada molécula irá deslocar-se de uma distância maior em torno de sua posição de equilíbrio. Dessa forma, elas "comprimem" mais as regiões de alta densidade, e as regiões de baixa densidade ficarão mais rarefeitas. Isso significa que a densidade aumenta nas regiões de alta pressão e diminui naquelas de baixa pressão (veja a figura da página 55 do Caderno Principal).

Questão 07 – Letra B

Comentário: A frequência do som emitido pelo violino corresponde à frequência fundamental de vibração da corda do violino, que pode ser calculada por $f = v/2L$.

A velocidade da onda na corda, por sua vez, pode ser calculada por $v = \sqrt{T/\mu}$.

Assim, se o músico afrouxa a corda do instrumento, diminuindo a tensão, a velocidade da onda, na corda, ficará menor e, portanto, menor será a frequência do som emitido pelo instrumento, já que o comprimento da corda é constante. Assim, B é a alternativa correta.

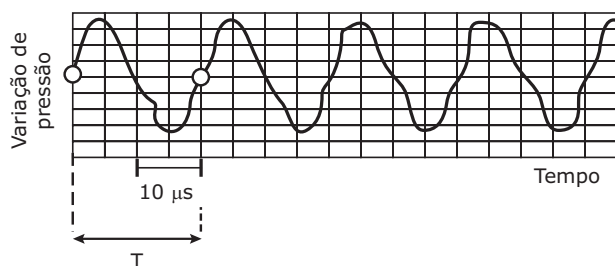
Questão 08 – Letra B

Comentário: Seja x a distância do estudante até o paredão. A distância percorrida (d) pelo som até retornar ao estudante (eco) é d = 2x. Se ele escuta a sequência palma-eco-palma-eco... e bate palmas a cada segundo, o tempo gasto pela onda entre cada palma e cada eco correspondente é de 0,5 segundo. Como a velocidade da onda é constante, temos:

$$d = vt \Rightarrow 2x = 340.0{,}5 \Rightarrow x = 85 \text{ m}$$

Resultado expresso na alternativa B.

Questão 09 – Letra D

Comentário: O intervalo de tempo entre os dois instantes marcados na figura (onda completa) é o período da onda ($T = 20\ \mu s$).

Assim, a frequência desse apito pode ser calculada por:

$f = 1/T = 1/20\ \mu s = 1/(20 \times 10^{-6}\ s) \Rightarrow f = 50\ 000\ Hz$

Veja na tabela que apenas os gatos e os morcegos escutam sons com tal frequência, ou seja, a alternativa correta é a D.

Questão 11 – Letra C

Comentário: Diminuir a energia da fonte significa diminuir a intensidade I da onda sonora. O nível de intensidade sonora N, em bel, pode ser calculado por $N = \log I/I_0$. Segundo a definição de logaritmo, diminuir o nível de intensidade em 1,0 bel significa dividir a intensidade I por 10. Assim, diminuir 30 dB (3,0 B) significa diminuir a intensidade (e a energia das ondas) 1 000 vezes, como afirma a alternativa C.

Observação: Professor, você pode usar uma propriedade dos logaritmos para se chegar à resposta. A saber, $\log a - \log b = \log a/b$.

Sejam N_F e N_I os níveis final e inicial de intensidade sonora (em bel), respectivamente. Assim, temos:

$$N_F = \log I_F/I_0 \text{ e } N_I = \log I_I/I_0$$

A diferença entre os níveis inicial e final de intensidade será:

$\Delta N = N_I - N_F = \log I_I/I_0 - \log I_F/I_0 \Rightarrow$

$\Delta N = \log [(I_I/I_0)/(I_F/I_0)] = \log (I_I/I_F) \Rightarrow 3 = \log (I_I/I_F) \Rightarrow$

$10^3 = I_I/I_F \Rightarrow I_F = I_I/1\ 000$

Questão 12 – Letra B

Comentário: O nível de intensidade sonora (N), em bel, pode ser calculado por $N = \log I/I_0$. Cada cachorro emite um som com nível sonoro N = 6,5 B. Se dois cachorros latem simultaneamente, a intensidade resultante será:

$$I_R = I + I = 2I$$

Assim, o nível de intensidade sonora resultante (N_R), em bel, será:

$$N_R = \log 2I/I_0 = \log 2(I/I_0)$$

Usando a propriedade do produto dos logaritmos ($\log a.b = \log a + \log b$), temos:

$N_R = \log 2 + \log I/I_0 \Rightarrow N_R = 0{,}30 + 6{,}5 = 6{,}8\ B \Rightarrow N_R = 68\ dB$

Resultado encontrado na alternativa B.

Questão 14 – Letra A

Comentário: A equação do efeito Doppler mostra que a frequência da onda sonora percebida por um observador, f_{ap}, quando há uma aproximação entre fonte e observador, pode ser calculada por:

$$f_{ap} = f_F[(v_{SOM} + v_{OBS})/(v_{SOM} - v_{FONTE})]$$

Assim, as frequências percebidas nos dois casos serão:

$$f_1 = f_F[(v_{SOM})/(v_{SOM} - v)] \text{ e } f_2 = f_F[(v_{SOM} + v)/(v_{SOM})]$$

Resolvendo essas equações, para valores da velocidade v menores que a velocidade do som, temos $f_1 > f_2$. Como existe aproximação nos dois casos, as frequências percebidas são maiores que a frequência f da fonte sonora. Logo, a alternativa correta é a A.

Sugestão: Aplique nas equações o valor de 40 m/s e 340 m/s, por exemplo, para as velocidades de aproximação e do som, respectivamente. Assim, fica mais fácil mostrar o resultado do exercício.

Questão 18 – Letra D

Comentário: Nesse exercício, temos um carro de Fórmula 1 (fonte sonora) se aproximando de um detector em repouso (observador). O detector, nessa situação, percebe uma frequência sonora f_1 emitida pelo motor do carro. Entretanto, quando o carro se encontra em repouso, observa-se que a frequência emitida pelo motor é f. O carro movimenta-se com velocidade V, e a velocidade do som no ar é v. Utilizando a equação do efeito Doppler para o caso em que uma fonte sonora se aproxima de um observador em repouso, temos:

$$f' = f\frac{v_s}{v_s - v_f} \qquad f_1 = f\frac{v}{v - V}$$

$$(v - V)f_1 = vf \qquad vf_1 - Vf = vf$$

$$Vf_1 = vf_1 - vf \qquad V = v\frac{f_1 - f}{f_1}$$

Logo, a alternativa correta é a D.

Questão 22

Comentário: A velocidade das ondas nas cordas é a mesma, e a frequência do som emitido é igual à frequência fundamental de vibração da corda. Também sabemos que o som mais grave corresponde à menor frequência. Como a frequência fundamental é dada por $f = v/2L$, a corda mais longa vai produzir o som mais grave.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: A frequência da onda emitida pelo radar é $f_0 = 3\ 000\ MHz = 30 \times 10^8\ Hz$. Usando a equação dada, temos:

$$f = \frac{2u_r}{c}f_0 \qquad 300 = \frac{2u_r}{3{,}0 \times 10^8}30 \times 10^8 \qquad u_r = 15\ m/s$$

Como 1,0 m/s = 3,6 km/h, temos u_r = 54 km/h. Logo, a alternativa correta é a D.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: Chame a atenção dos alunos para o fato de que a pergunta se refere à produção de imagens "através de camadas de sedimentos depositados no navio". A luz que conseguir chegar ao navio será praticamente toda absorvida nesses sedimentos (atenuação muito elevada). Assim, ela é inadequada para gerar imagens além dos sedimentos. A onda emitida pelo sonar (ultrassom), por outro lado, consegue atravessar os sedimentos e os objetos dentro do navio. Assim, o tempo gasto pela onda refletida em cada elemento, dentro do navio, será diferente. Isso permite a geração de uma imagem tridimensional do seu interior.

Questão 03 – Letra B

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: O gráfico mostra que os sons que podem ser emitidos por quem está falando (A) estão nas faixas entre 1 000 Hz e 10 000 Hz de frequências e entre 4 B e 7 B nos níveis de intensidade sonora. Dentro dessa faixa de frequências, o ouvinte (B) consegue perceber sons com níveis de intensidade entre 1 B e 2 B. Assim, ele é capaz de captar todos os sons emitidos, pois eles apresentam níveis de intensidade sonora superior ao mínimo que ele consegue ouvir. Conclui-se, portanto, que a alternativa correta é a B.

MÓDULO – D 16

Radiação de corpo negro e quantização da energia

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra D

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente:

A) As ondas eletromagnéticas usadas em transmissões por fibras ópticas apresentam frequências de 100 mil a 1 milhão de GHz, que são frequências na faixa da radiação infravermelha, muito inferiores às elevadíssimas frequências dos raios X, que são da ordem de bilhões de GHz.

B) As ondas eletromagnéticas usadas em transmissões de estações de rádio AM apresentam frequências da ordem de algumas centenas de KHz, e as de rádio FM, da ordem de algumas dezenas de MHz, que são frequências muito inferiores às da radiação infravermelha, da ordem de milhares e milhões de GHz.

C) As ondas eletromagnéticas de sinais de TV por satélite apresentam frequências da ordem de dezenas de GHz, que são maiores do que as frequências das ondas eletromagnéticas dos sinais VHF de TV aberta, os quais são da ordem de dezenas a centenas de MHz.

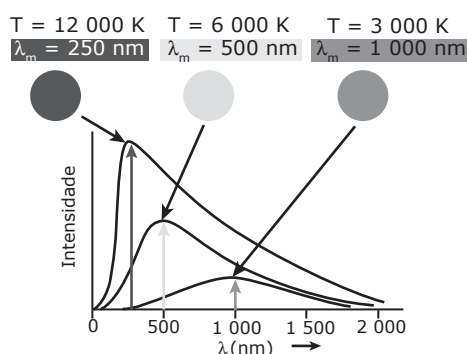
D) As ondas eletromagnéticas de celulares apresentam frequências entre 300 MHz e 3 GHz, que se acha dentro da faixa da radiação de microondas (de 100 MHz a 1 000 GHz).

E) As ondas eletromagnéticas usadas em transmissões de estações de rádio AM apresentam frequências da ordem de algumas centenas de kHz, que são frequências muito inferiores às de micro-ondas, que se estendem de 100 MHz a 1 000 GHz.

Questão 02 – Letra C

Comentário: De acordo com o gráfico do exercício, o valor para o comprimento de onda correspondente ao máximo da intensidade da radiação é $\lambda_{Máx.} \cong 1,5\ \mu m$. Aplicando a Lei de Wien, podemos achar a temperatura da fornalha:

$\lambda_{Máx.}.T = \text{constante} = 3 \times 10^3\ \mu m.K \Rightarrow 1,5T = 3 \times 10^3 \Rightarrow T = 2\,000\ K$

Podemos obeservar, de acordo com a Lei de Wien, que, como $\lambda_{Máx.}.T$ é constante, à medida que a temperatura do corpo aumenta, o valor $\lambda_{Máx}$ diminui. Esse comportamento está representado no gráfico a seguir.

Com base nas informações apresentadas, a alternativa correta é a C.

Questão 03 – Letra B

Comentário: A energia que um átomo recebe ou emite na forma de radiação eletromagnética é dada por E = nhf, em que n corresponde a um número inteiro de "pacotinhos" absorvidos ou emitidos.

Questão 04 – Letra E

Comentário: De acordo com a equação E = h.f, a energia de um fóton de energia eletromagnética é diretamente proporcional à frequência da radiação. Assim, como a frequência do raio X é maior do que a da radiação violeta, que, por sua vez, é maior do que a frequência da radiação vermelha, concluímos que as energias fotônicas dessas radiações seguem o mesmo padrão, ou seja, a energia de um fóton de radiação ultravioleta é maior do que a energia de um fóton de radiação violeta, que é maior do que a energia de um fóton de radiação vermelha, assim como expresso na alternativa E.

Questão 05 – Letra A

Comentário: A energia de N fótons emitidos pelo *laser* é:

$E = n.h.f = n.6,6 \times 10^{-34}.4,0 \times 10^{14} = n.2,64 \times 10^{-19}\ J$

Por definição, a razão entre essa energia e o tempo de $6,0 \times 10^{-9}$ s (6,0 ns) é a potência $P = 110 \times 10^{-3}$ W (110 mW) do *laser*. Usando essa definição, obtemos o número de fótons:

$110 \times 10^{-3} = n.2,64 \times 10^{-19}/6,0 \times 10^{-9} \Rightarrow n = 2,5 \times 10^9$ fótons.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra E

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Falso. Analisando a equação $c = \lambda.f$, pode-se perceber que a frequência f e o comprimento de onda λ são grandezas inversamente proporcionais, pois a velocidade c é igual para todas as radiações no vácuo, ou seja, é uma constante. Assim, o comprimento de onda da radiação ultravioleta é menor, e não maior, do que o comprimento de onda da radiação infravermelha, pois esta possui frequência menor do que a da outra radiação, de acordo com o diagrama dado na questão.

B) Falso. No vácuo e em meios não dispersivos como o ar, todas as ondas eletromagnéticas apresentam a mesma velocidade de propagação.

C) Falso. De acordo com o diagrama dado na questão, vemos que as ondas de TV possuem maior frequência do que as ondas de rádio. Portanto, o comprimento de onda das ondas de TV é menor, e não maior, do que o das ondas de rádio.

D) Falso. Todas as ondas eletromagnéticas propagam-se com a mesma velocidade no vácuo.

E) Verdadeiro. A energia de uma onda (de um fóton) é proporcional à sua frequência. Como a frequência do infravermelho é maior do que a das ondas de TV, concluímos que a energia do infravermelho é maior do que a das ondas de TV.

Questão 02 – Letra C

Comentário: De acordo com o gráfico do campo elétrico em função do tempo representando a oscilação da onda eletromagnética, há 4 oscilações completas do campo ao longo de 4×10^{-16} s. Portanto, a frequência da onda eletromagnética é:

$f = 4$ oscilações$/4\times10^{-16}$ s $= 1 \times 10^{16}$ Hz

Segundo a tabela fornecida na questão, essa frequência de oscilação corresponde à radiação ultravioleta.

Questão 06 – Letra D

Comentário: Como o poder de penetração de uma radiação aumenta com a energia do fóton desta, ondas eletromagnéticas de frequências mais elevadas, como os raios X, apresentam maior poder de penetração na matéria. Além de serem muito energéticas, elas apresentam um menor comprimento de onda, facilitando a penetração nos interstícios da rede atômica da matéria. Assim, a radiação infravermelha de maior comprimento de onda e menor frequência que os raios X tem menor poder de penetração na matéria do que os raios X. Com base nessa discussão, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 08 – Letra A

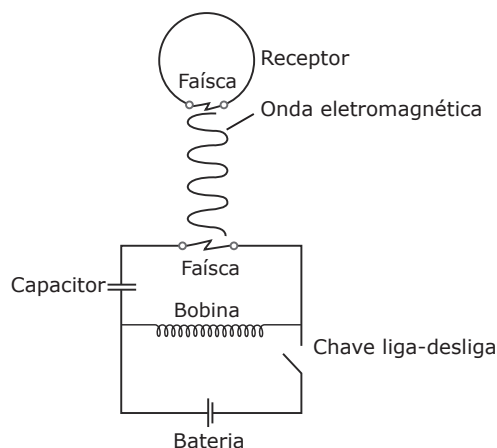
Comentário: As energias dos fótons emitidos pelas duas fontes, dadas por $E = hf$, são idênticas ($E_I = E_{II}$), pois as duas radiações apresentam o mesmo comprimento de onda e, consequentemente, a mesma frequência. Como a fonte I tem a menor potência, e como a energia individual dos fótons é a mesma, concluímos que a quantidade de fótons emitida por essa fonte é menor do que a quantidade de fótons emitida pela fonte II ($N_I < N_{II}$) no mesmo intervalo de tempo.

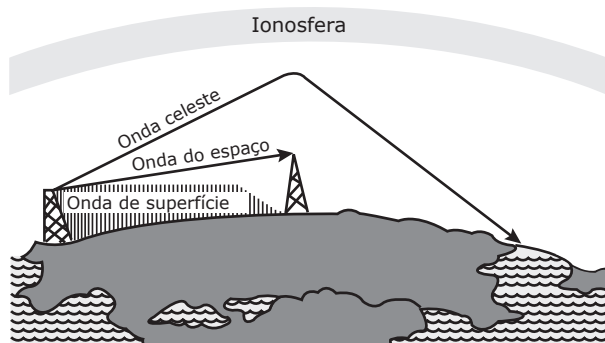
Questão 10 – Letra D

Comentário: Esse exercício pode ser melhor discutido a partir da leitura do texto a seguir:

A descoberta e a produção das ondas de rádio

Depois que Maxwell divulgou a sua teoria sobre as ondas eletromagnéticas, em 1873, muitos cientistas buscaram uma evidência experimental sobre a existência de tais ondas e sua equivalência com a luz. Em 1887, o físico alemão Heinrich Hertz projetou um experimento com o qual pôde confirmar as hipóteses de Maxwell. Em sua montagem original, Hertz usou um oscilador feito de duas pequenas esferas metálicas, cada uma conectada a uma bobina de indução, separadas por uma pequena distância onde ocorria uma descarga elétrica quando a bobina era ligada ou desligada. Sendo tal descarga uma corrente elétrica variável, Hertz raciocinou que, se as predições de Maxwell estivessem corretas, ondas eletromagnéticas deveriam ser transmitidas do espaço entre as esferas, durante uma série de faíscas. Para confirmar isso, Hertz construiu um receptor muito simples, que era um fio enrolado em laço. Nas extremidades do laço, havia outras duas esferas também separadas por uma pequena folga.

A figura seguinte mostra, de forma muito simplificada, o circuito emissor e o circuito receptor usado por Hertz. Na verdade, em vez de apenas uma bobina, Hertz colocou um transformador, de modo que a f.e.m induzida no secundário fosse muito maior que a d.d.p. do primário ligado à bateria. De acordo com a Lei de Faraday, se ondas eletromagnéticas fossem geradas no oscilador, elas induziriam uma f.e.m. entre as esferas do receptor, produzindo faíscas através da abertura. Foi exatamente isso que Hertz observou, mesmo quando o circuito receptor era colocado a vários metros de distância do oscilador. Dessa forma, Hertz produziu as primeiras transmissões e recepções de ondas eletromagnéticas. Essas ondas eram de frequência bem menor que a da luz, sendo mais tarde denominadas de ondas de rádio.

Hertz realizou outros testes, observando que as ondas eletromagnéticas produzidas podiam ser refletidas e focalizadas por refletores côncavos. Ele também conseguiu medir a velocidade de propagação do sinal, encontrando o mesmo valor da velocidade da luz. Pouco tempo depois, sabendo dos trabalhos de Hertz, o italiano Marconi teve a ideia de aproveitar a descoberta para transmitir notícias sem o uso de fios. Assim, a transmissão por radiodifusão, aos poucos,

foi introduzida no mundo. A figura a seguir mostra três tipos de sinais de rádio sendo enviados de uma antena a outros pontos do planeta. Em todas essas transmissões, existe o circuito emissor (a antena à esquerda) e o circuito receptor (a antena à direita ou os aparelhos de rádio nas casas). Por mais sofisticado que tais circuitos possam ser, tenha sempre em mente que essa tecnologia é fruto da montagem original de Hertz.

Questão 11 – Letra B

Comentário: Como acontece com qualquer radiação eletromagnética, a energia do raio X se propaga por meio dos pacotes de energia chamados fótons. Sendo assim, a alternativa correta é a B. Para melhor discussão sobre essa radiação, veja o texto sobre a produção dos raios X apresentado na resolução do Exercício Proposto, questão 14.

Questão 14

Comentário:

A) Aplicando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, já que a energia potencial elétrica inicial do elétron se transforma integralmente em energia cinética, a energia cinética adquirida pelo elétron é dada por $E = V.e = 2,0 \times 10^4.1,6 \times 10^{-19} = 3,2 \times 10^{-15}$ J.

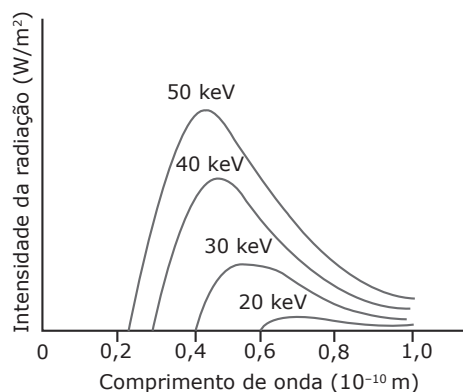
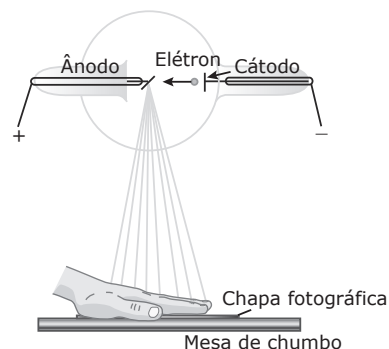
B) O menor comprimento de onda possível para o raio X produzido ocorre quando a energia cinética total do elétron é transformada em raios X logo na primeira colisão, já que a energia do fóton e o comprimento de onda da radiação são inversamente proporcionais. Assim, podemos calcular o menor comprimento de onda do raio X por: $\lambda = h.c/E = 6,6 \times 10^{-34}.3,0 \times 10^8/3,2 \times 10^{-15} = 6,2 \times 10^{-11}$ m

C) Esse exercício foi adaptado do vestibular da UFMG. Nele, foi incluída a letra C. A seguir, apresentamos um texto sobre a produção dos raios X, que permite entender a resposta que aparece no gabarito do Caderno Principal.

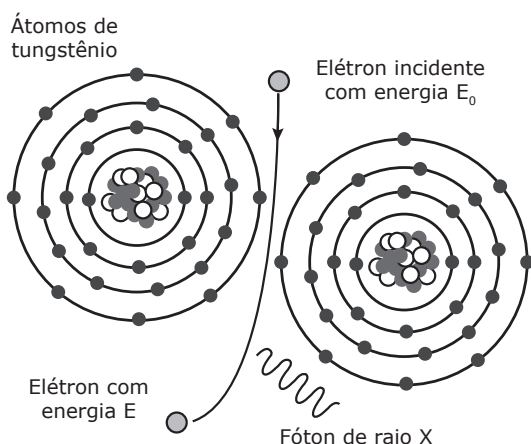
Röntgen e os raios X

Os raios X foram descobertos por acaso, em 1895, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen. Durante um experimento em um tubo de vácuo, Röntgen observou uma inesperada luminosidade projetada sobre uma tela de material fluorescente. Röntgen colocou a sua mão entre o tubo e a tela, e viu seus ossos projetados na tela. Ele observou, pela primeira vez, uma radiografia tirada por aquilo que passou a ser chamado de raios X.

Os raios X foram assim denominados por Röntgen porque ele não conhecia a sua natureza. Experimentos posteriores comprovaram que os raios X são ondas eletromagnéticas, pois eles apresentam propriedades típicas de ondas como polarização, reflexão e difração, além de possuírem uma velocidade de propagação igual à da luz. Os raios X são radiações eletromagnéticas de alta frequência (em torno de 10^{18} Hz) e, consequentemente, de baixo comprimento de onda. Por isso, para se observar sua difração, é preciso fazê-los passar por fendas muito estreitas, da ordem de 10^{-10} m, como aquelas existentes entre átomos de certos cristais.

A figura a seguir mostra um tubo de vácuo para geração de raios X, onde a radiação é produzida quando um feixe de elétrons de alta energia é freado ao atingir um alvo (anodo). Esses elétrons são emitidos por um filamento quente (catodo) e acelerados por uma diferença de potencial de alguns milhares de volts entre o catodo e o anodo. Os raios X emitidos pelo anodo apresentam vários comprimentos de ondas, e a distribuição de energia da radiação é semelhante à distribuição de energia dos corpos negros. O gráfico seguinte mostra a distribuição de energia de raios X emitidos por um anodo de tungstênio bombardeado por feixes eletrônicos de quatro diferentes energias por elétron, todas elas dadas em keV (1 keV = $1,6 \times 10^{-16}$ J). Note que essa distribuição depende da energia do feixe incidente. Note também que, para cada energia dos elétrons, há um comprimento de onda mínimo $\lambda_{mín.}$, abaixo do qual o tungstênio não emite raios X.

Um elétron que incide no anodo sofre uma espécie de colisão com átomos do alvo. A energia perdida pelo elétron aparece na forma de um fóton de raio X, que é emitido pelo sistema como ilustra a figura a seguir. Esse fóton apresenta uma energia dada por h.f ou h.c/λ, sendo h a constante de Planck, c a velocidade da luz, e f e λ a frequência e o comprimento de onda da radiação X emitida. O elétron

que emerge do sistema apresenta uma energia $E < E_0$. Como a massa dos átomos é muito maior que a massa do elétron, a energia de recuo dos átomos é desprezível. Assim, de acordo com o Princípio da Conservação da Energia, podemos escrever a seguinte relação:

$$E_0 = E + h.f$$

Os elétrons do feixe incidente podem perder diferentes quantidades de energia, chegando ao repouso, em geral, apenas depois de sofrer múltiplas colisões. De acordo com a quantidade de energia transferida, o fóton emitido pode apresentar comprimentos de ondas que vão desde $\lambda_{mín.}$ (valor mínimo) até $\lambda \to \infty$.

Um fóton de comprimento de onda mínimo (e de frequência máxima) ocorre quando o elétron perde toda a energia cinética E_0 logo na primeira colisão. Nesse caso, temos E = 0, e a equação que fornece o comprimento de onda mínimo é:

$$\lambda_{mín.} = \frac{h.c}{E_0}$$

No gráfico, observe que temos $\lambda_{mín.} = 0,4 \times 10^{-10}$ m quando $E_0 = 30$ keV. Substituindo os valores adequados na equação anterior, obtemos:

$$\lambda_{mín.} = \frac{6,63 \times 10^{-34}.3,0 \times 10^{8}}{30.1,6 \times 10^{-16}} = 0,41 \times 10^{-10} \text{ m}$$

Note que esse valor é bastante concordante com o valor experimental. A grande maioria dos raios X gerados no anodo apresenta comprimentos de onda muito pequenos, não sendo muito maiores do que o comprimento mínimo. Esse diminuto tamanho dos raios X permite que eles atravessem a parte mole da mão mostrada na figura deste texto, causando a sensibilização da chapa fotográfica apoiada sobre a mesa de chumbo. A parte dura da mão, como ossos e tendões, absorvem mais os raios X. Assim, a fotografia fica mais escurecida nos locais onde os raios X incidem com mais intensidade, e fica mais esbranquiçada nos outros pontos. É esse contraste que permite enxergar a mão na radiografia. Os raios X, logo após a sua descoberta, foram utilizados para diagnósticos de fraturas, entrando para a história como o primeiro exame de imagens de partes internas do corpo. Além disso, os raios X são utilizados para detecção de falhas internas em peças, na visualização de órgãos internos do corpo, no tratamento de tumores, etc.

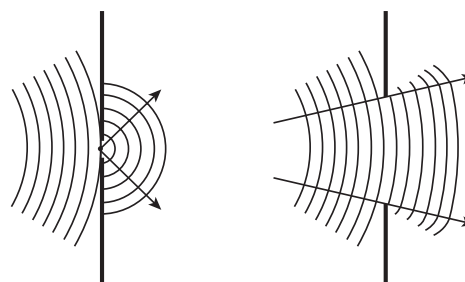
Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

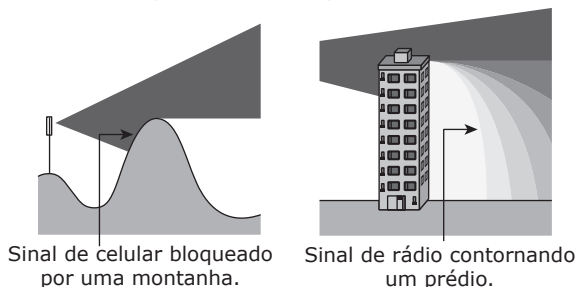
Competência de área: 1

Habilidade: 1

Comentário: A difração é um fenômeno que pode ocorrer tanto com ondas mecânicas, como o som, quanto com ondas eletromagnéticas, como as ondas de rádio. A difração se dá quando uma onda contorna um obstáculo, que pode ser um objeto no caminho da onda, um prédio, um carro, uma pessoa ou um orifício em uma placa. A figura seguinte mostra ondas se difratando ao incidirem em orifícios de placas. Há duas conclusões importantes que podemos tirar dessas imagens. A primeira conclusão é que, na difração, como a onda contorna o obstáculo, a frente de onda da onda deve se transformar. Note, na primeira imagem, que a frente de onda da onda incidente é do tipo circular e com grande raio de curvatura. Depois de difratada, a frente de onda continuou circular, mas com raio de curvatura muito menor. Na segunda imagem, note que a difração também provocou uma alteração na frente de onda. A segunda conclusão que podemos tirar dessas imagens é que a difração é mais evidente quando o comprimento de onda da onda é comparável às dimensões do obstáculo, que, nesse caso, é a abertura dos orifícios. Se o orifício for grande, mas com uma dimensão comparável ao comprimento de onda, a difração ocorre, ainda que de forma menos pronunciada. É isso que acontece na segunda imagem da figura a seguir.

Quando o obstáculo, como um muro ou uma montanha, é muito grande, ou melhor, quando o comprimento de onda da onda é muito pequeno comparado à dimensão do obstáculo, a difração é bastante penalizada. É por isso que as ondas eletromagnéticas de pequeno comprimento de onda, como os sinais de celulares, quase não sofrem difração (1ª figura a seguir), de forma que é necessário o uso de muitas antenas para a retransmissão do sinal. Ao contrário, as ondas de rádio, por terem um comprimento de onda maior, podem chegar a muitos lugares, contornando os obstáculos, como prédios e montanhas (2ª figura a seguir).

Dessa discussão, podemos concluir que a alternativa correta é a B.

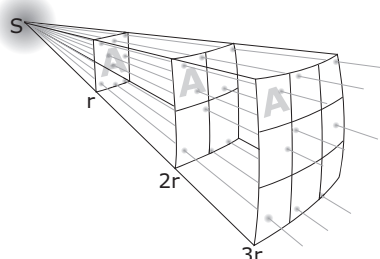
Sinal de celular bloqueado por uma montanha.

Sinal de rádio contornando um prédio.

Questão 02 – Letra E

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 18

Comentário: A intensidade de uma radiação eletromagnética emitida por uma fonte pontual, como a ponta de uma antena transmissora de um sinal de rádio, diminui com o inverso do quadrado da distância. Essa dependência é decorrente da distribuição esférica do sinal, que se dilui sobre uma superfície proporcional ao quadrado da distância r até a antena (lembre-se de que a área da superfície de uma esfera é dada por $A = 4\pi r^2$), conforme ilustra a figura adiante. Como esse decaimento da energia independe da frequência do sinal, um sistema de transmissão de sinais eletromagnéticos para celulares não apresenta vantagem em relação ao outro.
Portanto, a alternativa correta é a E.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: É importante notar que o eixo do tempo nessa questão foi representado em escala logarítmica. Essa escala é muito interessante, pois permite uma boa visualização tanto das perturbações de curta duração quanto daquelas de médias e longas durações. Contudo, precisamos ficar atentos ao analisarmos gráficos com esse tipo de escala, observando sempre os valores numéricos da escala, e não os comprimentos desenhados nela. Por exemplo, a linha em traço forte que representa a duração da tempestade magnética é mais curta do que os traços de todas as outras três perturbações indicadas na figura. Todavia, a tempestade magnética é o fenômeno de duração mais longa, como mostram os números que aparecem no eixo do tempo. O fenômeno de menor duração é proveniente dos raios X, que duram cerca de 1 minuto, a despeito de o traço desse intervalo de tempo ter quase o mesmo tamanho do traço da duração da tempestade magnética. Diante das considerações anteriores e observando o gráfico da questão, podemos concluir que a alternativa correta é a D, que afirma que a perturbação por ondas de rádio possui maior duração que a perturbação por raios X.

Questão 04 – Letra E

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 5

Habilidade: 21

Comentário: O processo de obtenção de imagens pelos satélites vai depender diretamente da reflexão das ondas eletromagnéticas refletidas pelos objetos visados. Como o maior índice de refletância ocorre para a radiação gama na faixa entre 0,8 mm e 0,9 mm, é conveniente que essa faixa seja selecionada.

MÓDULO – D 17

Dualidade onda-partícula e efeito fotoelétrico

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra B

Comentário: A interação fóton-elétron ocorre entre um único fóton e um único elétron. Por isso, se a frequência for aumentada, a energia cinética de emissão dos elétrons será aumentada, mas não a quantidade de elétrons arrancados da placa. Ao contrário, se a intensidade da luz for duplicada, e a frequência mantida a mesma, a quantidade de elétrons arrancados da placa irá duplicar.

Questão 02 – Soma = 11

Comentário:

01. Verdadeiro. Para uma frequência fixa, o número de elétrons emitidos é proporcional ao número de fótons que incide sobre a placa metálica, que, por sua vez, é proporcional a intensidade da luz.

02. Verdadeiro. A energia da radiação eletromagnética é quantizada, sendo a energia de cada quantum ou fóton de luz igual a hf, onde h é a constante de Planck e f é a frequência da radiação. Obviamente, quanto maior a frequência, maior a energia.

04. Falso. A energia dos elétrons emitidos é dada por $E_c = h.f - W$, onde h.f (constante de Planck vezes a frequência da radiação) é a energia de um fóton incidente na placa e W é a energia gasta para extrair um elétron da placa. A energia de um elétron emitido depende da frequência f radiação, mas não da sua intensidade da radiação. Se a intensidade da radiação aumentar, o número de elétrons emitidos também aumentará, mas todos continuarão saindo da placa com a mesma energia cinética.

08. Verdadeiro. Ver comentário 02.

16. Falso. O efeito fotoelétrico ocorre apenas quando a frequência f da radiação apresenta uma energia h.f maior que o trabalho de extração W. Nesse caso, o saldo h.f – W, é a energia cinética de emissão do elétron.

Questão 03

Comentário:

A) O espaçamento y entre os átomos, sendo igual ao comprimento de onda dos raios X, pode ser calculado por:

$E = h.c/\lambda \Rightarrow 1{,}98 \times 10^{-15} = 6{,}60 \times 10^{-34}.3{,}0 \times 10^{8}/\lambda \Rightarrow$

$\lambda = 1{,}0 \times 10^{-10}$ m $\Rightarrow y = 1{,}0 \times 10^{-10}$ m

B) O comprimento de onda associado ao elétron, que vale $1{,}0 \times 10^{-10}$ m, conforme calculado no item anterior, se relaciona com a quantidade de movimento Q do elétron, de acordo com a equação de de Broglie, $\lambda = h/Q$. Substituindo os valores de λ e h, obtemos:

$1{,}0 \times 10^{-10} = 6.60 \times 10^{-34} / Q \Rightarrow Q = 6{,}6 \times 10^{-24}$ kg.m/s

C) Primeiramente, vamos calcular a velocidade do elétron a partir da equação da quantidade de movimento:

$Q = m.v \Rightarrow 6{,}6 \times 10^{-24} = 9{,}1 \times 10^{-31}.v \Rightarrow$

$v = 7{,}3 \times 10^{6}$ m/s

Agora, podemos calcular a energia cinética do elétron:

$E = m.v^2/2 = 9{,}1 \times 10^{-31}.(7{,}3 \times 10^{6})^2 / 2 = 2{,}4 \times 10^{-17}$ J

Para converter a energia para elétron-volt (eV), devemos usar a relação 1 eV = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J. Assim:

$E = 2{,}4 \times 10^{-17}/1{,}6 \times 10^{-19} = 1{,}5 \times 10^{2}$ eV

Questão 04 – Letra D

Comentário: De acordo com o modelo de Thomson, de 1897, a carga positiva do átomo encontraria-se uniformemente distribuída em um volume esférico, ao passo que os elétrons negativos estariam localizados no seio dessa esfera de carga positiva. Para o modelo de Rutherford, de 1911, os elétrons movem-se em torno da carga positiva, que está localizada em uma pequena região central do átomo, denominada núcleo. Nenhum desses dois modelos leva em conta a quantização da energia do elétron, ideia que foi introduzida apenas no modelo de Bohr, de 1913. Portanto, com base nesta discussão, conclui-se que a alternativa correta é a D.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Quando um elétron passa para um nível de menor energia, há emissão de um fóton, cuja energia é igual ao módulo da diferença entre as energias final e inicial do elétron. Portanto, na situação desse exercício, a energia do fóton emitido vale:

$$E = -3{,}4 - (-1{,}5) = -1{,}9 \text{ eV} \Rightarrow |E| = 1{,}9 \text{ eV}$$

Sendo a constante de Plank $h = 4{,}135 \times 10^{-15}$ eV.s, a frequência do fóton será $f \cong 4{,}6 \times 10^{14}$ Hz. Portanto, a alternativa correta é a A.

Exercícios Propostos

Questão 03 – Letra D

Comentário: No efeito fotoelétrico, a energia cinética de emissão dos elétrons depende da frequência da radiação incidente no metal, sendo esta dada pela equação de Einstein: $E = hf - W$. Essa interpretação está ligada ao conceito de fóton, partícula de luz que transfere energia aos elétrons, arrancando-os do metal. Para frequências baixas da radiação incidente, o produto hf pode ser menor que W, que é a energia mínima necessária para se arrancar o elétron do átomo. Assim, existe uma frequência mínima da radiação incidente (chamada de frequência de corte) para que se possa observar a ocorrência do efeito fotoelétrico, abaixo da qual não ocorre emissão de elétrons, apenas aquecimento do metal. Ainda usando a equação de Einstein, podemos facilmente entender por que a energia cinética dos elétrons emitidos e a corrente formada pelos elétrons emitidos aumentam com o aumento da frequência da luz incidente no metal. Nenhuma dessas características, explicadas com o advento da Física Moderna (opções A, B e E) é prevista pela Física Clássica. A característica apresentada na opção C, ausência de intervalo de tempo entre a incidência de luz e a emissão de elétrons, também não pode ser prevista pela Física Clássica. Apenas a característica da opção D é prevista pela Física Clássica (e também pela Física Moderna). O fato de a maior intensidade da luz gerar uma maior corrente fotoelétrica pelo metal está de acordo com o Princípio da Conservação da Energia, conceito que permeia tanto a Física Clássica quanto a Física Moderna.

Questão 04 – Letra D

Comentário: A energia de um fóton da radiação descrita no enunciado é dada por:

$E = hc/\lambda = (4{,}0 \times 10^{-15}$ eV.s)$.(3{,}0 \times 10^{8}$ m/s)$/(2{,}50 \times 10^{-7}$ m) = 4,8 eV

Ao receber essa energia, de acordo com o Princípio da Conservação da Energia, uma parte igual a W é usada para arrancar o elétron do átomo, e o restante se converte em energia cinética, que vale 0,800 eV. Portanto, a função trabalho W desse metal é igual a 4,0 eV, logo, a alternativa correta é a D.

Questão 07 – Letra B

Comentário: O comprimento de onda associado a uma massa de 50 g, movendo-se a 5,0 m/s, pode ser calculado a partir da equação de de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}}{0{,}050.5{,}0} = 2{,}65 \times 10^{-33} \text{ m}$$

Esse comprimento de onda é tão ínfimo, que, mesmo do ponto de vista atômico, não existem redes de difração capazes de causar fenômenos ondulatórios nessa massa. A difração é a experiência padrão que os físicos fazem para comprovar o comportamento ondulatório da matéria. Um exemplo é a difração de um feixe de elétrons que atravessa a rede atômica de um cristal.

Questão 09 – Letra A

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

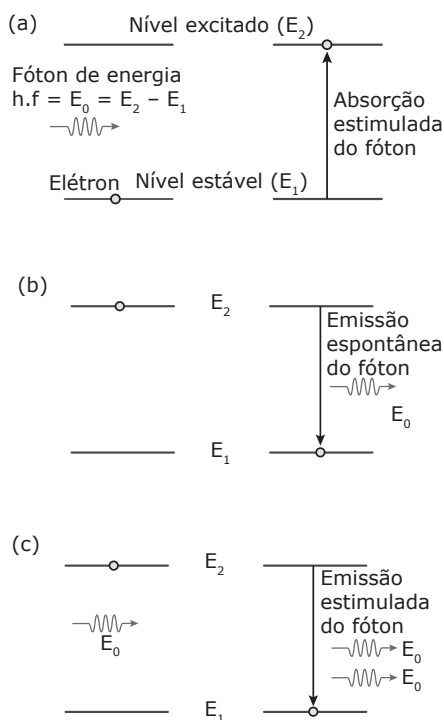
A) Verdadeiro. O momento angular de um corpo em relação a um eixo de referência é dado pelo produto vetorial entre a quantidade de movimento do corpo e a distância do vetor quantidade de movimento a esse eixo. No caso do elétron de um átomo de hidrogênio, girando em uma órbita circular de raio R em torno do núcleo, que será o eixo da referência, a quantidade de movimento vale Q = m.v (produto entre a massa e a velocidade do elétron), e o momento angular é dado por L = mvR. No modelo do átomo de hidrogênio, Bohr postulou que essa grandeza fosse igual apenas a certos valores discretos, fornecidos pela relação $L = mvR = n(h/2\pi)$, sendo h a constante de Planck e $n = 1, 2, 3, \ldots \infty$. Combinando essa equação com a relação $mv^2/R = ke^2/R^2$ (igualdade entre a força centrípeta sobre o elétron e a força de atração elétrica coulombiana que o elétron recebe do núcleo atômico), Bohr pôde obter o raio R do nível atômico n em função de n. Bohr, ainda, obteve uma expressão para a energia do elétron (soma da energia cinética com a energia potencial elétrica) em função de n. Para n = 1, o elétron está no estado fundamental, o estado de mais baixa energia e mais próximo ao núcleo atômico. Para n = 2, 3, ..., o elétron está excitado, e a sua energia cresce quadraticamente com o valor de n. Para $n = \infty$, o elétron acha-se desligado do átomo e tem energia máxima. Dessa maneira, Bohr explicava a estabilidade das órbitas eletrônicas usando a quantização do momento angular.

B) Falso. A experiência sobre o espalhamento de partículas α incidentes sobre uma lâmina de ouro foi realizada por Rutherford, e não por Bohr. Os resultados dessa experiência indicaram que a carga positiva dos átomos estava concentrada em uma pequena região, o núcleo atômico. Rutherford imaginou corretamente que os elétrons estariam orbitando em torno desses núcleos. Possuindo aceleração centrípeta, os elétrons deveriam, segundo as previsões da teoria de Maxwell, dissipar energia na forma de ondas eletromagnéticas, acabando por cair no núcleo atômico. O átomo, assim, seria instável, ou seja, era o modelo de Rutherford que mostrava a instabildade das órbitas eletrônicas a partir de experimentos com partículas alfa. Bohr explicou essa aparente instabilidade do átomo usando as ideias de Planck sobre a quantização da energia e percebendo que a teoria de Maxwell era válida apenas para elétrons livres, e não para os elétrons ligados de um átomo.

C) Falso. O modelo de Rutherford ainda não vislumbrava a quantização de energia. Veja os comentários dos itens A e B.

D) Falso. Veja o comentário do item B.

Questão 12 – Letra E

Comentário: O nome *laser* é uma sigla para *light amplification by stimulated emission of radiation*, ou, em português, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. A produção de luz concentrada em um *laser* é baseada em três tipos de transições eletrônicas: (a) a absorção estimulada, (b) a emissão espontânea e (c) a emissão estimulada de um fóton. A figura a seguir mostra essas três transições entre os níveis de energias E_1 e E_2. As transições (a) e (b) são conhecidas pelos estudantes. Em (a), um fóton dotado de uma energia $E_0 = h.f = (E_2 - E_1)$ é absorvido por um elétron com energia mais baixa E_1, que, em seguida, passa para o nível de energia superior E_2. Em (b), o elétron sofre relaxação, retornando ao nível de energia mais baixa com a emissão de um fóton de mesma frequência e energia. Na maioria dos átomos, o tempo médio de permanência do elétron no estado excitado é da ordem de 10^{-8} s, um intervalo de tempo extremamente pequeno. Porém, em alguns átomos, existem níveis de energia, chamados de estados metaestáveis, nos quais o processo de excitação e o de relaxação podem ser de alguns centésimos de segundos, minutos ou mesmo horas. No *laser*, os átomos apresentam um tempo médio de relaxação relativamente longo, da ordem de 10^{-3} s. Na transição (c), o elétron excitado no nível de energia E_2 acha-se em uma estado metaestável, de modo que a passagem de um fóton com uma energia $E_0 = (E_2 - E_1)$ estimula o elétron excitado a retornar ao estado de energia mais baixa E_1. Por isso, dois fótons, o incidente e o emitido, emergem do átomo. O fato mais importante da emissão estimulada é que os dois fótons emergentes são absolutamente idênticos, apresentando não apenas as mesmas frequências e energias, mas também as mesmas fases e direções de propagação. Esse tipo de luz pode percorrer longas distâncias sem se dispersar, já que os fótons constituintes dele têm as mesmas fases e direções de propagação.

Questão 13

Comentário:

A) A frequência da radiação é:

$$f = c/\lambda = 3 \times 10^8/300 \times 10^{-9} = 10^{15}\text{ Hz}$$

B) A energia do fóton é:

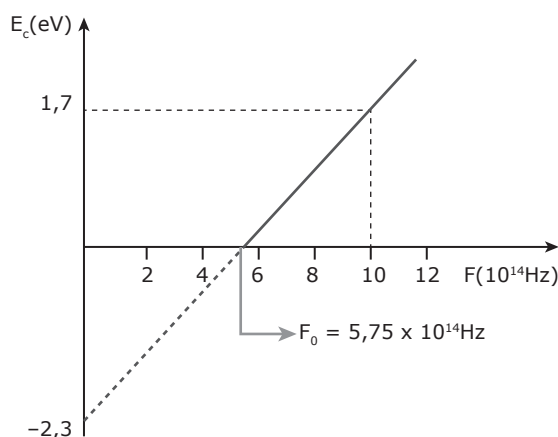
$$E = h.f = 4 \times 10^{-15}.1 \times 10^{15} = 4\text{ eV}$$

C) A energia cinética do elétron emitido é:

$$Ec = h.f - W = 4 - 2,3 = 1,7\text{ eV}$$

D) A frequência mínima f_0 para haver emissão de elétrons ocorre quando a energia $h.f_0$ do fóton é igual ao trabalho de extração do elétron, de modo que o elétron é arrancado do metal, mas não há energia cinética para que ele seja emitido. Assim:

$$h.f_0 = W \Rightarrow 4 \times 10^{-15}.f_0 = 2,3 \Rightarrow f_0 = 5,75 \times 10^{14}\text{ Hz}$$

Esboce o gráfico a seguir para os alunos, representando a energia cinética dos elétrons emitidos em função da frequência da radiação incidindo sobre uma placa de sódio. Observe que só há emissão de elétrons para frequências superiores a $f_0 = 5,75 \times 10^{14}$ Hz. Explique aos alunos que o gráfico é uma reta de inclinação igual à constante de Planck h. Explique ainda que o coeficiente linear da reta é o trabalho de extração W.

Questão 14

Comentário:

A) No hidrogênio, o elétron, de carga negativa –q, gira em torno do núcleo, de carga positiva +q. Bohr admitiu que o elétron move-se com velocidade de módulo v em uma órbita circular de raio R sob a ação de força coulombiana de atração com o núcleo, que será a força centrípeta desse movimento. Assim:

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{Kq^2}{R^2}$$

Em que K é a constante eletrostática do vácuo. Explicitando a velocidade, obtemos:

$$v = q\sqrt{\frac{K}{mR}}$$

B) Para calcular R, primeiramente usaremos a expressão para calcular o comprimento de onda associado ao elétron, $\lambda = h/p$. Além disso, podemos dizer que p = mv, expressão usada para calcular o momento linear (também chamada de quantidade de movimento) de um corpo. Nessa expressão, m e v são a massa e a intensidade velocidade do elétron. Usando a equação da velocidade obtida em (A), e fazendo o perímetro da órbita igual a um múltiplo inteiro N (1, 2, 3, ...) do comprimento de onda λ, temos:

$$\frac{2\pi R}{N} = \frac{h}{mq\sqrt{\frac{K}{mR}}}$$

Explicitando R, obtemos a expressão:

$$R = N^2\frac{h^2}{4\pi^2Kmq^2}$$

É importante comentar que essa expressão também pode ser deduzida a partir da quantização do momento angular, como pensou, originalmente, Bohr.

Questão 15

Comentário:

A) Vamos considerar como dada a energia do 1º nível, que é E_1 = −13,6 eV. A energia de cada nível pode ser determinada por $E_n = E_1/n^2$, sendo n o número do nível de energia. Para o nível n = 5, temos:

$E_5 = -13,6/5^2 = -0,544$ eV

B) A diferença de energia entre os níveis 1 e 5 é:

$\Delta E = 13,6 - 0,544 = 13,056$ eV $= 13,056$ eV$.1,6 \times 10^{-19}$ J/eV = $2,089 \times 10^{-18}$ J

C) A frequência do fóton absorvido para o elétron passar do 1º para o 5º nível de energia é:

$f = \Delta E/h = 20,089 \times 10^{-19}$ J$/6,6 \times 10^{-34}$ J.s $= 3,2 \times 10^{15}$ Hz.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

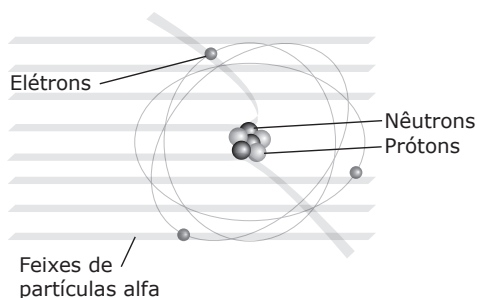
Comentário: De acordo com o próprio enunciado dessa questão, a célula fotovoltaica mantém a lâmpada acesa apenas enquanto o dispositivo estiver exposto à luz. Portanto, a célula fotovoltaica não armazena energia, pois, nesse caso, a lâmpada continuaria acesa mesmo depois que a célula não estivesse exposta à luz. Isso faz sentido, pois, de acordo com a teoria do efeito fotoelétrico, a emissão de elétrons da célula ocorre apenas enquanto houver luz incidente. Quanto maior a intensidade da luz, maior será o número de elétrons emitidos por unidade de tempo e, portanto, maior será o valor da corrente elétrica. A frequência da luz também interfere na intensidade dessa corrente. Por exemplo, como a luz azul possui maior frequência que a luz vermelha, os fótons da luz azul são mais energéticos. Por isso, os elétrons emitidos com a exposição de luz azul são mais energéticos que os elétrons decorrentes da luz vermelha. Assim, quanto maior a intensidade da luz incidente (maior taxa de emissão de elétrons) e quanto maior a frequência da luz (maior energia individual dos elétrons emitidos), maior o brilho da lâmpada.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 22

Comentário: De acordo com os resultados do experimento de Rutherford, pode-se concluir que o núcleo atômico é ínfimo. Para cada 20 mil partículas alfa lançadas contra a lâmina de ouro, apenas uma ricocheteava, isto é, voltava totalmente para trás (desvio de 180°). Vale a pena mostrar uma figura aos alunos, como a imagem abaixo, ilustrando que a maioria das partículas alfa não interagem com o núcleo atômico. Na figura, note que apenas dois feixes interagiram com o núcleo atômico e, mesmo assim, nenhum deles sofreu um desvio totalmente para trás.

MÓDULO – D 18

Introdução à Relatividade Especial

Exercícios de Fixação

Questão 01 – Letra C

Comentário: Vamos analisar as afirmativas separadamente.

I. Correto. O 1º Postulado de Einstein para a Teoria da Relatividade Restrita enuncia que as leis da Física são as mesmas para todos os referenciais inerciais (aqueles desprovidos de aceleração). O 2º Postulado diz que a velocidade da luz é a mesma para todos os referenciais inerciais, como está escrito na afirmativa I.

II. Correto. Três consequências imediatas do 2º Postulado da Teoria da Relatividade Restrita são as relatividades da simultaneidade, do tempo e do espaço, conceitos absolutos na Física newtoniana. De acordo com Einstein, dois eventos simultâneos, vistos por uma pessoa em um referencial inercial, podem não ser simultâneos para alguém situado em outro referencial inercial. O tempo decorrido entre esses dois eventos também pode ser diferente para os dois observadores, assim como o espaço medido entre as posições nas quais os eventos se passam. O tempo medido entre dois eventos é dilatado para observadores que estão localizados em referenciais cujas posições inicial e final dos eventos são diferentes entre si. Como esse tempo medido é maior que o tempo próprio do evento e a velocidade da luz é absoluta, ele observará um comprimento contraído em relação ao comprimento próprio. Na sequência, em outros exercícios resolvidos neste Manual, mostraremos cálculos que confirmarão esses fenômenos.

III. Incorreto. A Mecânica Clássica não limita a velocidade de um corpo, mas a Teoria da Relatividade sim. Segundo essa teoria, nenhum corpo pode atingir a velocidade da luz.

IV. Correto. Veja a explicação da afirmativa II.

Da discussão anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Vamos calcular o fator de Lorentz, que mede a dilatação do tempo medido para um evento em um referencial inercial que se move a velocidade v, caso da Terra, em relação ao referencial (nave) no qual foi medido o tempo próprio (de 6 anos) para esse evento.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} = \frac{1}{0,6} = 1,67$$

Assim, na Terra, o tempo fica dilatado desse fator em relação ao tempo próprio medido no referencial da nave. Portanto, aqui terão se passado $6.\frac{1}{0,6} = 10$ anos, como afirma a alternativa B.

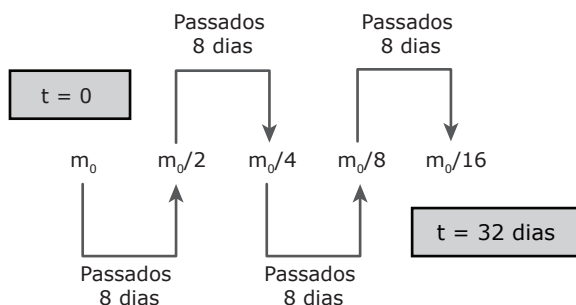
Questão 03 – Letra D

Comentário: De acordo com a equação de Einstein, a diferença entre a massa do núcleo de ^{235}U fissionado e a soma das massas dos produtos da sua fissão é:

$E = \Delta mc^2 \Rightarrow 2,7 \times 10^{-11} = \Delta m.(3,0 \times 10^8)^2 \Rightarrow$

$\Delta m = 3,0 \times 10^{-28}$ kg

Questão 04 – Letra D

Comentário: Como a meia-vida do isótopo radioativo de iodo é de 8 dias, depois de passado esse tempo, metade da massa de iodo é transformada em núcleos de outros átomos. Portanto, depois de 32 dias, que é o intervalo de tempo entre a 1ª coleta (2ª feira, 04 de abril de 2011) e a 2ª coleta (06 de maio de 2011), a massa inicial m_0 em t = 0 se reduzirá ao seguinte valor:

Portanto, como a concentração de iodo em t = 0 foi de 200 mil Bq/cm³, espera-se que a concentração em t = 32 dias seja de:

$$\text{Concentração} = \frac{200\ \text{mil}}{16} = 12{,}5\ \text{mil Bq/cm}^3$$

A massa do isótopo em função do tempo também poderia ser calculada pela expressão:

$$m = m_0/2^{t/T}$$

Nessa expressão, m_0 é a massa (ou a concentração) em t = 0, t é o instante em que a massa (ou a concentração) é igual a m, e T é o tempo de meia-vida do isótopo. Nessa questão, a concentração em t = 0 é de 200 mil Bq/cm³. Como T = 8 dias, para t = 32 dias, temos t/T = 4. Portanto, a concentração de iodo no instante t = 32 dias é:

$$m = 200\ \text{mil}/2^4 = 200\ \text{mil}/16 = 12{,}5\ \text{mil Bq/cm}^3$$

A vantagem no uso desta equação é que ela pode ser empregada para calcular a massa (ou a concentração) de um isótopo radioativo quando o tempo for igual a várias dezenas ou centenas do tempo de meia-vida. Nesse caso, o cálculo manual apresentado inicialmente seria muito entediante ou até impossível. A mesma observação pode se aplicar quando o tempo for menor que o tempo de meia-vida.

Questão 05 – Letra C

Comentário: O bombardeamento de um núcleo estável com nêutrons pode tornar o novo núcleo, agora um isótopo com uma maior quantidade de nêutrons, em um elemento instável, isto é, fissionável. Por exemplo, bombardeando com um nêutron um átomo de chumbo, esse se torna físsil, partindo-se em dois núcleos menores, um de ouro e outro de lítio, liberando mais 4 nêutrons, conforme a reação nuclear seguinte:

$$_{82}Pb^{207} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{79}Au^{197} + {}_3Li^7 + {}_{40}n^1$$

Em cada elemento, note que o índice menor representa a carga elétrica (número de prótons), enquanto o índice maior representa o número de massa (soma de prótons e nêutrons). Nessa reação, observe que há conservação da carga elétrica (82 + 0 = 79 + 3 + 0) e do número de massa (207 + 1 = 197 + 7 + 4.1). Comente com os alunos que, a exemplo do que ocorre com a reação de fissão do urânio em uma usina nuclear, na reação dessa questão, a massa não se conserva, pois parte se converte em energia. De acordo com a equação de Einstein, essa energia é dada por $E = \Delta m.c^2$, sendo c a velocidade da luz e Δm a diferença entre a soma das massas dos elementos antes da reação e a soma das massas dos elementos resultantes.

Exercícios Propostos

Questão 04 – Letra D

Comentário: De acordo com o 2º Postulado da Teoria da Relatividade Restrita, a velocidade da luz e de qualquer outra onda eletromagnética, como as ondas de rádio, é a mesma em todos os referenciais inerciais. Portanto, a velocidade de ida e de volta dos sinais de rádio emitidos pela nave e pela base espacial são iguais, independentemente de a nave estar com a velocidade v = 0,5 c. Logo, como o percurso de ambos foram os mesmos (ida até a Terra e retorno até a base em Marte), concluímos que os tempos t_N e t_B são iguais.

Questão 05 – Letra E

Comentário: Para analisar as afirmativas desse exercício, vamos calcular o fator de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0{,}998c)^2}{c^2}}} = 15{,}8$$

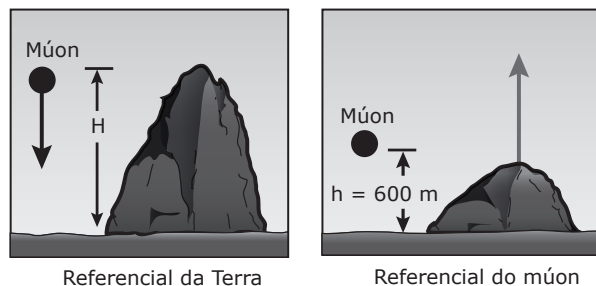
Esse valor, que é próximo de 15, poderia também ser obtido dividindo-se a meia-vida do múon no referencial da Terra (30 μs) pela meia-vida no referencial do múon (2 μs). Agora, podemos analisar cada uma das afirmativas:

I. Correto. Como explicado anteriormente, a dilatação precisa na meia-vida do múon no referencial da Terra é de 15,8.

II. Correto. O comprimento próprio de um corpo é aquele medido no referencial onde esse corpo está em repouso. Na figura a seguir, a altura da montanha, H, é o comprimento próprio medido na Terra (a montanha está parada em relação à Terra). Do referencial do múon, a altura da montanha, seguindo o enunciado do exercício, é h = 600 m (por exemplo). Podemos calcular H, lembrando que h é o comprimento contraído (no referencial do múon, a montanha está em movimento). Usando o fator de Lorentz, γ = 15, podemos obter H:

$$H = h\gamma = 600.15 = 9\ 000\ \text{m}$$

Referencial da Terra

Referencial do múon

III. Incorreto. O múon percorre 9 000 m no sistema de referência da Terra, conforme explicado anteriormente.

IV. Correto. Essa experiência é uma das muitas que confirmam a Teoria da Relatividade. Se a dilatação do tempo não existisse, pouquíssimos múons seriam encontrados ao nível do mar, pois a meia-vida dessa partícula, em seu próprio referencial, é muito pequena (2 μs). Contudo, medidas registram uma grande população de múons ao nível do mar, confirmando que a sua meia-vida aumenta no referencial da Terra (30 μs), permitindo a chegada das partículas ao solo antes de elas serem transformadas em outros elementos. Outra forma de interpretar esse fato seria pensar que, no referencial do múon, a altura de descida é pequena (de apenas 600 m, e não 9 000 m), de forma que, mesmo com uma pequena meia-vida, a partícula chega ao solo antes de se desintegrar.

Questão 06 – Letra D

Comentário: O observador O percebe os sinais luminosos no mesmo instante, pois as luzes emitidas pelas lanternas A e B, que se acham equidistantes de O, percorrem, com a velocidade c, distâncias iguais até atingirem o observador O.

Apesar do movimento do avião, a velocidade da luz, em relação ao observador O', também vale c, pois a velocidade da luz não depende do referencial de observação, desde que seja inercial. Assim, a luz emitida pela lanterna B atinge O' primeiramente, pois o avião move-se para a direita. A luz emitida pela lanterna A percorre uma distância maior e, por isso, atinge O' um pouco depois. Assim, ambos os observadores estão corretos, como é afirmado na alternativa D.

Questão 07 – Letra D

Comentário: A situação de dois elétrons que se movem em sentidos opostos pode ser comparada ao caso em que dois carros se aproximam. De acordo com a Física Clássica, a velocidade relativa de aproximação desses carros é a soma de suas velocidades em relação ao solo. Se usássemos a mesma ideia para o caso dos dois elétrons, a velocidade relativa de aproximação seria v = c/2 + c/2 = c. Esse resultado é absurdo, pois nenhum corpo pode se mover à velocidade da luz. Por isso, devemos descartar a opção E. A opção A também deve ser descartada, pois a velocidade relativa deve ser maior do que a própria velocidade de cada elétron em relação ao sistema em repouso. Para encontrar a resposta, devemos usar a equação da adição relativística de velocidades, já que a velocidade dos elétrons não é desprezível em relação a C:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + v_1 v_2/c^2}$$

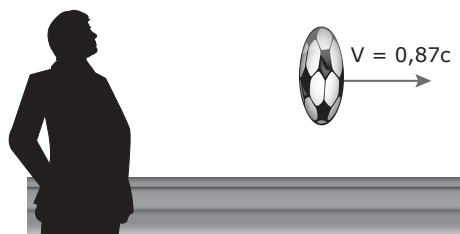
Substituindo $v_1 = v_2 = c/2$ nessa equação, obtemos $v = 4c/5$, resultado expresso pela alternativa D.

Questão 08 – Letra C

Comentário: Vamos analisar as três afirmativas separadamente.

I. Incorreto. De acordo com a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, o tempo é relativo, pois depende do referencial inercial de observação.

II. Correto. O comprimento contrai na direção do movimento, para um observador que se move em relação ao evento. Quando não há movimento relativo em certa direção, as dimensões do corpo não se acham contraídas nessa direção. Por exemplo, a bola mostrada na figura, do ponto de vista do observador no solo, acha-se contraída 50% na direção horizontal, porém mantém seu comprimento natural na direção vertical, pois ela se move apenas horizontalmente, com um fator de Lorentz igual a 2. Para isso, a velocidade (hipotética) da bola deve ser igual a 87% da velocidade da luz, conforme indicado nos cálculos a seguir:

$$\gamma = 2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow v = c\sqrt{\frac{3}{4}} = 0{,}87c$$

III. Correto. A quantidade de movimento relativística de um corpo é dada por Q = γmv, em que m e v são a massa e a intensidade da velocidade do corpo e γ, o fator de Lorentz. Há duas interpretações para o produto γm que aparece nessa equação. A primeira, mais antiga, e ainda muito usada nos exames de vestibulares, considera que m é a massa de repouso do corpo, e que o produto γm é a massa do corpo quando ele está em movimento. À medida que v aumenta, γ aumenta, e a massa também cresce. Quando v tende para a velocidade da luz, γ tende para infinito, e o mesmo ocorre com a massa. A afirmativa III, portanto, é verdadeira. A outra interpretação para o produto γm (inclusive defendida por Einstein) é a seguinte: a massa m, por ser uma propriedade física da matéria, não varia com a velocidade, sendo sempre constante. Quando v tende para a velocidade da luz, m permanece constante. Nesse caso, Q tende para o infinito porque o fator γ tende para infinito. Como II e III estão corretas, a resposta é a alternativa C.

Questão 10 – Letra B

Comentário: Através da leitura do gráfico, podemos ver que a meia-vida, tempo para a amostra radioativa ter a sua massa reduzida à metade do valor inicial, vale 30 anos. Portanto, somando esse valor ao tempo de 20 anos, teremos um tempo de 50 anos de decaimento radioativo, contados desde a ocorrência do acidente radioativo, em 1987. De acordo com o gráfico, a porcentagem restante do sal após 50 anos de decaimento será de 32%. Assim, em 2037, restarão 32% da massa de 20 g que havia em 1987. Portanto, ainda haverá 6,4 g de césio radioativo, resultado expresso na alternativa B.

Questão 11 – Letra C

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

A) Correto. De acordo com o 2º Postulado da Teoria da Relatividade, a velocidade da luz é constante (invariante) em todos os referenciais inerciais.

B) Correto. No Sol, núcleos de hidrogênio pesado (dêuterons) se fundem em núcleos de hélio, ocorrendo uma diminuição da massa, que se converte em energia, de valor fornecido pela equação $E = \Delta mc^2$.

C) Incorreto. Nas células fotovoltaicas, a luz solar incide sobre placas, de forma que elétrons são arrancados e emitidos da placa (efeito fotoelétrico). A emissão de elétrons gera uma corrente elétrica, que pode ser usada para alimentar circuitos elétricos. Contudo, grande quantidade de energia gerada implica uso de placas com áreas muito grandes. Por isso, o uso do efeito fotoelétrico não é adequado para gerar energia em grande escala. Até o presente, essa geração deve ser feita nas grandes usinas hidroelétricas, termoelétricas e nucleares.

D) Correto. Nas usinas nucleares, a geração de energia ocorre a partir da fissão de núcleos pesados, como o urânio, em núcleos mais leves, como o bário e o criptônio. Nesse processo, ocorre redução da massa, com a sua conversão em energia respeitando a equação $E = \Delta mc^2$.

Questão 15

Comentário:

A) A energia de ligação do núcleo é a energia necessária para separar os nêutrons dos prótons. Essa energia está associada à diferença de massa Δm existente entre a soma das massas dessas partículas e a massa real do núcleo, de forma que a energia de ligação é $E = \Delta mc^2$.

Substituindo os valores nessa equação, obtemos:

$E_L = ((3{,}345 \times 10^{-27} + 3{,}350 \times 10^{-27}) - (6{,}691 \times 10^{-27}))(3 \times 10^8)^2 = 3{,}6 \times 10^{-13}$ J

B) A energia de um fóton de uma radiação de frequência f vale hf, e a de n fótons vale nhf, valor que deve ser igualado à energia calculada no item A.

Assim, obtemos o seguinte valor de n:

$n.6 \times 10^{-34}.1{,}2 \times 10^{15} = 3{,}6 \times 10^{-13} \Rightarrow n = 5 \times 10^5$ fótons

Seção Enem

Questão 01 – Letra C

Eixo cognitivo: IV

Competência de área: 3

Habilidade: 10

Comentário: Uma alternativa ao urânio físsil, que existe em pouca concentração na natureza, são bombas atômicas feitas com plutônio, um dos subprodutos gerados nos reatores das usinas nucleoelétricas, como explicado na alternativa C.

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 7

Habilidade: 26

Comentário: Uma usina nuclear produz eletricidade a partir da fissão nuclear de isótopos de urânio. O calor gerado nesse processo é usado para gerar vapor de água, que, por sua vez, é usado para acionar a turbina de acionamento dos geradores de eletricidade. Além de produzir uma grande quantidade de energia elétrica, uma usina nuclear também produz resíduos nucleares (lixo nuclear), que são muito perigosos para os seres humanos. Por isso, esses resíduos devem ser isolados em depósitos impermeáveis durante um longo período de tempo. Na verdade, alguns resíduos nucleares podem continuar emitindo radiação por milhares de anos e esse processo não pode ser interrompido artificialmente. A perda do controle durante o processo de fissão nuclear pode elevar a temperatura do reator, causando seu derretimento e o vazamento de radiações nocivas para o meio ambiente. Por isso, embora os reatores das centrais nucleares não emitam gases poluentes para a atmosfera (esses são característicos das centrais térmicas convencionais, que queimam combustíveis fósseis para gerar o vapor de acionamento das turbinas), as instalações nucleares têm de ser construídas com alto grau de segurança. Com base nessa discussão, conclui-se que a alternativa correta é a A.

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Os dois comentários são pertinentes na análise das vantagens e dos riscos do uso de usinas nucleares. A energia nuclear é gerada pela transformação de massa em energia por meio da fissão do urânio, portanto, essa forma de energia não libera nenhum gás estufa e, consequentemente, não contribui para o aumento do efeito estufa. No entanto, essa forma de energia não permite que fiquemos tranquilos, pois, embora os acidentes nucleares sejam raros, a exposição do ser humano à radiação pode gerar efeitos terríveis, como provam os acidentes na usina soviética de Chernobyl e, mais recentemente, na usina de Fukushima, no Japão.

Questão 04 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 4

Habilidade: 14

Comentário: A esterilização por radiação não torna o material esterilizado radioativo, ela apenas atinge os micro-organismos presentes, destruindo-os e impedindo que se reproduzam. Portanto, a alternativa A está correta; todas as outras alternativas estão erradas ao afirmarem que existe radiação no material.